

Avaliação do desempenho a longo prazo de pavimentos flexíveis: exploração da base de dados LTPP americana

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana

Autor

Joana Filipa Macedo Azevedo

Orientador

Prof. Doutor Silvino Dias Capitão

Professor Coordenador do DEC-ISEC

Prof. Doutor Deolinda Dias Rasteiro

Professor Coordenador do DEC-ISEC

Coimbra, dezembro, 2013

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho contou com o apoio de algumas pessoas, às quais pretendo manifestar o meu agradecimento.

Ao Professor Doutor Silvino Dias Capitão, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Civil (DEC) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), pela dedicação, força, paciência e ensinamentos transmitidos. Estou particularmente grata por me ter incutido o interesse pelas vias de comunicação, motivo pelo qual me levou a realizar este trabalho.

À Professora Doutora Deolinda Dias Rasteiro, Professora Adjunta do Departamento de Física e Matemática (DFM) do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), pela disponibilidade, motivação e transmissão de conhecimentos científicos.

Aos meus pais, por me proporcionarem o acesso às melhores ferramentas. A eles devo os valores, a nobreza de carácter e ... um pedido de desculpas pelo meu mau “génio”.

À avó Maria, por me lembrar que ainda sou uma menina e me tratar como tal.

À Eliana, por nunca me destruir os (super!) sonhos.

À família e aos amigos, pela partilha, inspiração, gestos e palavras.

À música, ao cinema e à literatura, que me ajudam a estruturar como pessoa.

RESUMO

A implementação de programas de LTPP - *Long-Term Pavement Performance* (avaliação do desempenho de pavimentos a longo prazo), ao criar um registo histórico sobre as características e a evolução do estado dos pavimentos da rede, revela-se uma ferramenta de valor acrescido no auxílio à tomada de decisões, no âmbito da conservação e da reabilitação de pavimentos, por parte das administrações das infraestruturas rodoviárias.

O LTPP americano, dentre os existentes no mundo, é o projeto pioneiro e um dos que tem a maior quantidade de informação armazenada. Por isso, foi o escolhido no âmbito desta dissertação para estudar a evolução do estado dos pavimentos em várias secções classificadas no programa como SPS-5, incluídas no estudo de reabilitação de pavimentos betuminosos. A avaliação efetuada considera cerca de 15 anos de registos de dados, na Califórnia, no Texas e no Mississippi.

Após uma breve apresentação de vários projetos LTPP existentes no mundo, descreve-se o modo como são recolhidos e estruturados os dados no LTPP americano, referindo os módulos, as tabelas e os campos considerados para estudo que se faz nesta dissertação.

Os estados americanos escolhidos apresentam características climáticas que não reproduzem de forma muito próxima o que acontece em Portugal. Mesmo assim, procurou estabelecer-se um paralelo entre aquelas zonas, com base na temperatura do ar e na precipitação, de modo a poder inferir, de forma aproximada, tendências de evolução do estado dos pavimentos para Portugal Continental. A correspondência climática entre os estados americanos e as regiões portuguesas, resultou nos pares Califórnia/Beja, Texas/Lisboa e Mississippi/Porto.

No que se refere ao desenvolvimento de patologias nos pavimentos, analisou-se a evolução do fendilhamento longitudinal, transversal, em bloco (ou malha) e por fadiga (ou pele de crocodilo), da desagregação superficial, do Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e das rodeiras. O fendilhamento em bloco (ou malha) e a desagregação superficial não foram objeto de estudos estatísticos para determinação de modelos de previsão.

A evolução do estado dos pavimentos, traduzida por indicadores relacionados com as patologias analisadas, foi apreciada em função de diversas variáveis associadas às técnicas de reabilitação, tais como a preparação da superfície de trabalho (realização de atividades de fresagem antes da nova camada), a espessura da camada de reforço

(50 ou 125 mm) e o tipo de mistura utilizada (nova ou contendo cerca de 30% de material reciclado).

Para as situações em que os dados existentes eram coerentes e em quantidade suficiente, apresentam-se análises de regressão multivariada, de modo a prever a evolução no tempo do estado dos pavimentos, tendo em conta um conjunto de variáveis explicativas relacionadas com as técnicas de reabilitação aplicadas e com o tráfego que solicitou os pavimentos.

A análise agregada dos dados para cada um dos estados permitiu concluir que a preparação da superfície por fresagem, o aumento da espessura do reforço, e a utilização de misturas betuminosas novas ou com material reciclado, interferem na evolução das degradações. A influência daqueles fatores é variável em função dos diferentes tipos de patologias em análise.

Palavras-Chave

Base de dados, desempenho a longo prazo, LTPP, modelos de previsão, patologias, reabilitação de pavimentos, SPS-5.

ABSTRACT

By creating historic records regarding pavement characteristics and the evolution of their condition on a network, the implementation of LTPP (Long-Term Pavement Performance programs) is a valuable tool to support decision making in what concerns maintenance and rehabilitation of pavements carried out by highway infrastructure agencies.

The American LTPP program, which is a pioneer project amongst those existing worldwide, has one of the greatest amounts of stored information. Because of this, it was the one chosen for this dissertation to study the evolution of pavement condition of several test sections classified as SPS-5 in the program, that were included in pavement rehabilitation studies. The evaluation carried out considers approximately 15 years of data records, in California, Texas and Mississippi.

After a brief presentation of several LTPP projects existing worldwide, we describe how data is collected and structured in the American LTPP, stating the modules, the tables and the fields considered in the study performed in this dissertation.

The chosen American states have climatic characteristics that are not very similar to what happens in Portugal. Even so, there was an attempt to make a match between those zones, based on air temperature and precipitation allowing us to infer approximate evolution tendencies of pavement condition to Portugal.

In what concerns the development of pavement distresses, the evolution of longitudinal cracking, transversal cracking, block cracking and fatigue cracking (alligator cracking), ravelling, International Roughness Index (IRI) and rut depth was analysed. Block cracking and ravelling were not considered in statistical studies to determine prediction models.

The evolution of pavements condition represented by indicators related to the analysed pathologies was considered as a function of several variables linked to rehabilitation techniques, such as preparation of the working surface (milling before construction of a new layer), thickness of overlay (50 or 125 mm) and the type of mixture applied (a new mixture or a mixture incorporating about 30% of recycled material).

For the situations in which the data were consistent and in sufficient quantity, multivariate regression analysis are presented in order to predict the evolution of

pavement conditions with time, taking into account a set of explanatory variables related to the rehabilitation techniques applied and the traffic on pavements.

The aggregate analysis of data for each state allowed us to conclude that preparation of the surface by milling, increasing thickness of overlay and the use of new mixtures or recycled asphalt interfere with the evolution of degradation. The influence of these factors varies for different types of pathologies in analysis.

Key-Words

Database, long-term pavement performance, LTPP, prediction models, pathologies, pavements rehabilitation, SPS-5.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO

1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e Metodologia do Trabalho	2
1.3	Organização do trabalho	3

2 PROGRAMAS DE LTPP

2.1	Generalidades.....	5
2.2	Exemplos de Alguns Programas de LTPP	6
2.2.1	O LTPP Australiano (ARRB GROUP, 2013 a).....	6
2.2.2	O LTPP Neozelandês.....	7
2.2.3	O LTPP Sueco	9
2.3	Programa de LTPP Adotado Nesta Dissertação	12
2.4	Síntese	12

3 A BASE DE DADOS DO PROGRAMA LTPP AMERICANO

3.1	Considerações Iniciais	13
3.2	Informação Relativa ao Desenvolvimento da Rede Viária.....	14
3.3	Tráfego (FHWA, 2009)	17
3.4	Clima.....	20
3.5	Estrutura dos Pavimentos.....	22
3.6	Materiais Constituintes dos Pavimentos	23
3.7	Patologias	25
3.7.1	Fendilhamento	26
	- Fendilhamento Longitudinal.....	27
	- Fendilhamento Transversal.....	28
	- Fendilhamento em Bloco (ou malha)	28

- Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)	28
3.7.2 Desagregação Superficial	28
3.7.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	29
3.7.4 Rodeiras	30
3.8 Síntese	32

4 SELEÇÃO DE DADOS NA BASE DE DADOS DO LTPP AMERICANO

4.1 Considerações Iniciais.....	33
4.2 Dados Climáticos	35
4.2.1 Generalidades.....	35
4.2.2 Estudo da precipitação média anual e da temperatura média mensal do ar.....	35
4.2.3 Estudo de temperatura proposto por Picado-Santos (Picado- Santos, 1988):	38
4.3 Tráfego	41
4.4 Estruturas das secções dos pavimentos	41
4.5 Dados de Patologias	43
4.5.1 Fendilhamento	43
- Fendilhamento Longitudinal	43
- Fendilhamento Transversal	45
- Fendilhamento em Bloco (ou malha).....	48
- Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)	48
4.5.2 Desagregação Superficial	51
4.5.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	52
4.5.4 Rodeiras	54
4.6 Discussão Geral dos Dados Tratados	56
4.7 Síntese	57

5 Análise de Dados e Modelos Estatísticos de Previsão de Patologias Avaliadas no LTPP

5.1 Considerações Iniciais.....	59
5.2 Fendilhamento.....	63
5.2.1 Fendilhamento Longitudinal.....	63
- Análise de dados das secções da Califórnia.....	63

- Análise de dados das secções do Texas	65
- Análise de dados das secções do Mississippi	66
5.2.2 Fendilhamento Transversal	69
- Análise de dados das secções da Califórnia	69
- Análise de dados das secções do Texas	70
- Análise de dados das secções do Mississippi	72
5.2.3 Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)	73
- Análise de dados das secções da Califórnia	73
- Análise de dados das secções do Texas	75
- Análise de dados das secções do Mississippi	76
5.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)	77
- Análise de dados das secções da Califórnia	77
- Análise de dados das secções do Texas	79
- Análise de dados das secções do Mississippi	80
5.4 Rodeiras	81
- Análise de dados das secções da Califórnia	81
- Análise de dados das secções do Texas	81
- Análise de dados das secções do Mississippi	82
5.5 Modelos de Previsão Considerando o Tráfego e Algumas Características dos Materiais	84
5.5.1 Generalidades	84
5.5.2 Modelo de Previsão do Fendilhamento por Fadiga para a Califórnia	84
5.5.3 Modelo de Previsão do Cavado de Rodeira para o Texas	86
5.6 Discussão Geral dos Resultados	88
5.6.1 Análise dos resultados provenientes dos modelos de previsão	88
5.6.2 Influência das características de reabilitação consideradas de forma agregada	89
5.7 Síntese	94

6 Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

6.1 Síntese do Trabalho e Conclusões Gerais	97
6.2 Prosseguimento de Trabalhos Futuros	100
6.3 Considerações Finais	101

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS103

APÊNDICES E ANEXOS 107
APÊNDICE I. Meteorologia 108
APÊNDICE II. Temperatura – Método Proposto por Picado-Santos 111

II.1	Caso A: Califórnia e Beja	111
II.2	Caso B: Texas e Lisboa.....	117
II.3	Caso C: Mississippi e Porto	123

APÊNDICE III. Tráfego 129

III.1	Califórnia.....	129
III.2	Texas	130
III.3	Mississippi	131

APÊNDICE IV. Modelos de Previsão da Evolução das Patologias nas Secções do Estado da Califórnia: diferentes períodos de reabilitação 132

IV.1	Fendilhamento Longitudinal	132
IV.2	Fendilhamento Transversal	137
IV.3	Fendilhamento por Fadiga (ou pele de crocodilo)	141
IV.4	Índice de Irregularidade Internacional	144
IV.5	Rodeiras.....	146

APÊNDICE V. Modelos de Previsão: variáveis independentes e normalidade dos resíduos 150

V.1	Fendilhamento Longitudinal	150
V.2	Fendilhamento Transversal	152

V.3	Fendilhamento por Fadiga (ou pele de crocodilo)	154
V.4	Índice de Irregularidade Internacional	155
V.5	Rodeiras	156
V.6	Modelo de Previsão do Fendilhamento por Fadiga para a Califórnia contendo como variáveis independentes o Tráfego e algumas características dos materiais.....	157
V.7	Modelo de Previsão das Rodeiras no Texas contendo como variáveis independentes o Tráfego e algumas características dos materiais	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização geográfica das secções LTPPM e LTPP	7
Figura 2.2 – Walking Profilometer.....	9
Figura 2.3 – Transverse Profile Beam	9
Figura 2.4 – Localização das secções de teste do LTPP sueco.....	11
Figura 2.5 – Road Surface Tester	11
Figura 3.1– Configuração de uma secção do programa GPS genérico.....	17
Figura 3.2 – Configuração de um modelo do programa SPS genérico.....	17
Figura 3.3 – Classificação de Veículos da FHWA	19
Figura 3.4 – Excerto da tabela TRF_MON_EST_ESAL, Volume 4.....	20
Figura 3.5 – Esquema conceptual da VWS	21
Figura 3.6 - Excerto da tabela CLM_VWS_TEMP_MONTH, Volume 1	22
Figura 3.7 – Excerto da tabela SECTION_LAYER_STRUCTURE, Volume 1	23
Figura 3.8 – Excerto da tabela TST_AC02, Volume 1	24
Figura 3.9 – Excerto da tabela TST_AC03, Volume 1	24
Figura 3.10 - Excerto da tabela TST_AE02, Volume 1	24
Figura 3.11- Excerto da tabela TST_AE04, Volume 1	25
Figura 3.12 – Evolução das solicitações num pavimento rodoviário	26
Figura 3.13 – Manual de Inspeção para secções de teste do LTPP	27
Figura 3.14 - Excerto da tabela MON_DIS_AC_REV, Volume 1	27
Figura 3.15 - Perfilómetro de alta velocidade	29
Figura 3.16 - Excerto da tabela MON_PROFILE_MASTER, Volume 1	30
Figura 3.17 - Medição de índices de deformação transversal pelo método da régua de 1,83m.....	31
Figura 3.18 - Medição de índices de deformação transversal pelo método da linha de referência.....	31
Figura 3.19- Excerto da tabela MON_T_PROF_INDEX_SECTION, Volume 1	32
Figura 4.1 – Zonas Climáticas Portuguesas que apresentam dano equivalente em pavimentos flexíveis, quando este é dependente apenas da temperatura do ar	36
Figura 4.2 – Distribuição geográfica dos programas SPS-5 nos EUA	37
Figura 4.3 – Média da temperatura do ar de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, na Califórnia e em Beja	39
Figura 4.4 - Média da temperatura do ar de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, no Texas e em Lisboa.....	39
Figura 4.5 - Média da temperatura do ar de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, no Mississippi e no Porto	40
Figura 4.6 – Estrutura genérica das secções SPS-5, antes e depois da reabilitação, não sujeitas a trabalhos preparatórios de fresagem.....	42
Figura 4.7 – Estrutura genérica das secções SPS-5, antes e depois da reabilitação, sujeitas a trabalhos preparatórios de fresagem.....	42
Figura 4.8 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal na Califórnia de 1992 a 2007	44

Figura 4.9 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal no Texas de 1993 a 2008	44
Figura 4.10 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal no Mississippi de 1990 a 1999	45
Figura 4.11 – Desenvolvimento do fendilhamento transversal na Califórnia de 1992 a 2007	46
Figura 4.12 – Desenvolvimento do fendilhamento transversal no Texas de 1993 a 2008	47
Figura 4.13 – Desenvolvimento do fendilhamento transversal no Mississippi de 1990 a 1999	47
Figura 4.14 – Desenvolvimento do fendilhamento em bloco na Califórnia de 1992 a 2007	48
Figura 4.15 – Desenvolvimento do fendilhamento em bloco no Mississippi de 1990 a 1999	48
Figura 4.16 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga na Califórnia de 1992 a 2007	49
Figura 4.17 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga no Texas de 1993 a 2008	50
Figura 4.18 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga no Mississippi de 1990 a 1999	51
Figura 4.19 – Desenvolvimento da desagregação superficial na Califórnia de 1992 a 2007	51
Figura 4.20 – Desenvolvimento da desagregação superficial no Texas de 1993 a 2008	52
Figura 4.21 – Desenvolvimento do IRI na Califórnia de 1992 a 2007	53
Figura 4.22 – Desenvolvimento do IRI no Texas de 1993 a 2008	53
Figura 4.23 – Desenvolvimento do IRI no Mississippi de 1990 a 1999	54
Figura 4.24 – Profundidade do cavado de rodeira na Califórnia de 1992 a 2007	54
Figura 4.25 – Profundidade do cavado de rodeira no Texas de 1993 a 2008	55
Figura 4.26 – Profundidade do cavado de rodeira no Mississippi de 1990 a 1999	55
Figura 4.27 – Localização dos projetos SPS-5 nos estados em estudo	56
Figura 5.1 – Diagrama genérico 1: estudo comparativo entre secções reabilitadas com espessuras de reforço diferentes, possuindo o mesmo tipo de mistura e de preparação de superfície	60
Figura 5.2 – Diagrama genérico 2: estudo comparativo entre secções reabilitadas com diferentes misturas na camada de revestimento, possuindo a mesma espessura e preparação de superfície	61
Figura 5.3 – Diagrama genérico 3: estudo comparativo entre secções reabilitadas com preparações de superfície diferentes, possuindo o mesmo tipo de mistura e igual espessura da camada de reforço	62
Figura 5.4 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento e do tipo de mistura	63
Figura 5.5 – Fendilhamento longitudinal para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	65
Figura 5.6 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e o tipo de mistura	66
Figura 5.7 – Fendilhamento longitudinal para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	67
Figura 5.8 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento e o tipo de mistura	68
Figura 5.9 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície	68
Figura 5.10 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento e do tipo de mistura	69
Figura 5.11 – Fendilhamento transversal para as secções da Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	70
Figura 5.12 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e tipo de mistura	71
Figura 5.13 – Fendilhamento transversal para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	72

Figura 5.14 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento e tipo de material	72
Figura 5.15 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície	73
Figura 5.16 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento e com o tipo de mistura.....	74
Figura 5.17 – Fendilhamento por fadiga para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	75
Figura 5.18 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e tipo de material	75
Figura 5.19 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do reforço e tipo de mistura	76
Figura 5.20 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície	77
Figura 5.21 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento e tipo de mistura.....	78
Figura 5.22 – Índice de Irregularidade Internacional para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	79
Figura 5.23 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e tipo de material	79
Figura 5.24 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura de revestimento e tipo de material	80
Figura 5.25 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura de revestimento e tipo de mistura	81
Figura 5.26 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e do tipo de mistura	82
Figura 5.27 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento e tipo de mistura	83
Figura 5.28 – Cavado de rodeira para o Mississippi: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo	83
Figura 5.29 – Fendilhamento por fadiga para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo que incorpora as variáveis relativas às características dos materiais.....	86
Figura 5.30 – Profundidade do cavado de rodeira para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo que incorpora as variáveis relativas às características dos materiais	87
Figura 5.31 – Modelo de previsão: fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento e tipo de mistura	88
Figura 5.32 – Modelo de previsão: fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do reforço e tipo de mistura	89
Figura 5.33 – Modelo de previsão: cavado de rodeira nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do reforço e tipo de mistura.....	90
Figura 5.34 – Fendilhamento longitudinal: valor médio agregado da taxa de variação anual em função das características de reabilitação	91
Figura 5.35 – Fendilhamento transversal: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação.....	92
Figura 5.36 – Fendilhamento por fadiga: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação.....	92

Figura 5.37 – Índice de Irregularidade Internacional: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação	93
Figura 5.38 – Cavado de Rodeira: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação	94

ÍNDICE DE FIGURAS EM APÊNDICE

Figura I. 1 – Precipitação média anual entre 2003 e 2006.....	109
Figura II. 1– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para a Califórnia e Beja.....	111
Figura II. 2 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para a Califórnia e Beja.....	111
Figura II. 3 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para a Califórnia e Beja.....	112
Figura II. 4 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para a Califórnia e Beja	112
Figura II. 5 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para a Califórnia e Beja	113
Figura II. 6 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para a Califórnia e Beja	113
Figura II. 7 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de outubro para a Califórnia e Beja	114
Figura II. 8 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para o Texas e Lisboa	117
Figura II. 9– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para o Texas e Lisboa	117
Figura II. 10– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para o Texas e Lisboa	118
Figura II. 11 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para o Texas e Lisboa	118
Figura II. 12 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para o Texas e Lisboa	119
Figura II. 13 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Texas e Lisboa	119
Figura II. 14 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Texas e Lisboa	120
Figura II. 15 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para o Mississippi e o Porto.....	123
Figura II. 16 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para o Mississippi e o Porto	123
Figura II. 17 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para o Mississippi e o Porto	124
Figura II. 18 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para o Mississippi e o Porto	124

Figura II. 19 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para o Mississippi e o Porto.....	125
Figura II. 20 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Mississippi e o Porto	125
Figura II. 21– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de outubro para o Mississippi e o Porto.....	126
Figura III. 1– Estimativa da média anual do tráfego acumulado de pesados na Califórnia entre 1993 e 1997	129
Figura III. 2 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Texas entre 1990 e 2007.....	130
Figura III. 3 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Mississippi entre 1990 e 1999	131
Figura IV. 1 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)	133
Figura IV. 2 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)	135
Figura IV. 3 – Fendilhamento longitudinal nas secções da Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo no período de 2002 a 2007.....	136
Figura IV. 4 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)	138
Figura IV. 5 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 2002 a 2007).....	139
Figura IV. 6 – Fendilhamento transversal para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo (período de 2002 a 2007).....	140
Figura IV. 7 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 1992 a 2001)	142
Figura IV. 8 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 2002 a 2007)	143
Figura IV. 9 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do IRI para a Califórnia	145
Figura IV. 10 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)	147
Figura IV. 11 – Profundidade do cavado de rodeira: dados previstos e observados em todas as secções constantes do modelo do primeiro período de reabilitação (mm).....	147
Figura IV. 12 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação)	149
Figura V. 1 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia	150
Figura V. 2 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas.....	151
Figura V. 3 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia	152
Figura V. 4 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para o Texas.....	153
Figura V. 5 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia	154
Figura V. 6 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do IRI para a Califórnia	155

Figura V. 7 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeiras no Mississippi.....	156
Figura V. 8 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais.....	158
Figura V. 9 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeiras no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais	159

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1– Lista de soluções construtivas pertencentes ao programa GPS	15
Quadro 3.2 – Lista dos estudos pertencentes ao programa SPS	16
Quadro 4.1– Ensaio SPS-5 do LTPP Americano.....	34
Quadro 4.2 – Cidades que se consideraram representativas das zonas climáticas de Portugal Continental.....	36
Quadro 4.3 - Coeficientes α_1 de acordo com a hora universal	38
Quadro 4.4 – Características normalizadas das secções pertencentes aos ensaios SPS-5	42
Quadro 4.5 – Correspondência entre as secções constantes na SDR-24 com o formato padrão do projeto SPS-5	43
Quadro 5.1– Características dos materiais nas secções existentes na Califórnia.....	85
Quadro 5.2 – Características dos materiais nas secções existentes no estado do Texas	86
Quadro 6.1 – Resumo do desempenho das secções SPS-5 nos estados estudados.....	99

ÍNDICE DE QUADROS EM APÊNDICE

Quadro I. 1– Temperaturas mínimas e máximas mensais do ar entre abril e outubro de 2003 a 2006, e precipitação média anual no mesmo período	108
Quadro I. 2– Estações Meteorológicas que fornecem informação à base de dados do LTPP	110
Quadro II. 1 - Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e outubro de 2003 a 2006, Califórnia e Beja.....	115
Quadro II. 2 – Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e outubro de 2003 a 2006, Texas e Lisboa.....	121
Quadro II. 3– Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e maio de 2003 a 2006, Mississippi e Porto.....	127
Quadro III. 1– Estimativa média anual do tráfego acumulado na Califórnia entre 1993 e 1997	129
Quadro III. 2– Estimativa média anual do tráfego acumulado no Texas entre 1990 e 2007	130
Quadro III. 3 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Mississippi entre 1990 e 1999.....	131
Quadro IV. 1 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)	133
Quadro IV. 2 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001).....	133
Quadro IV. 3 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)	135
Quadro IV. 4– Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período 2002 a 2007)	135
Quadro IV. 5 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)....	137
Quadro IV. 6 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 1992 a 2001)	138
Quadro IV. 7 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)	139
Quadro IV. 8 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 2002 a 2007)	139
Quadro IV. 9 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 1992 a 2001)	141
Quadro IV. 10– Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 1992 a 2001)	141

Quadro IV. 11 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 2002 a 2007).....	143
Quadro IV. 12 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 2002 a 2007).....	143
Quadro IV. 13 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do IRI para a Califórnia	144
Quadro IV. 14 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do IRI para a Califórnia.....	144
Quadro IV. 15 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)	146
Quadro IV. 16 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)	147
Quadro IV. 17 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação)	148
Quadro IV. 18 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação).....	148
Quadro V. 1– Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia	150
Quadro V. 2 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia	150
Quadro V. 3 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas	151
Quadro V. 4 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas.....	151
Quadro V. 5– Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia	152
Quadro V. 6 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia	152
Quadro V. 7 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para o Texas	153
Quadro V. 8 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal no Texas.....	153
Quadro V. 9 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia	154
Quadro V. 10 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia	154
Quadro V. 11 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do IRI para a Califórnia.....	155
Quadro V. 12 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do IRI para a Califórnia	155
Quadro V. 13 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Mississippi.....	156
Quadro V. 14 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Mississippi.....	156
Quadro V. 15 – Correlações entre as variáveis constantes do modelo de previsão do fendilhamento por fadiga e do cavado de rodeira na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais	157

Quadro V. 16 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais.....	157
Quadro V. 17– Variáveis excluídas: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais	157
Quadro V. 18 – Correlações entre as variáveis constantes do modelo de previsão do cavado de rodeira no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais	158
Quadro V. 19 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais.....	159

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway Transportation Officials

ALF – Accelerated Loading Facility

CTDB – Central Traffic Database

ESAL – Eixos Padrão Equivalentes Simples

EUA – Estados Unidos da América

FHWA – Federal Highway Administration

FWD – Falling Weight Deflectometer

GPS – General Pavement Studies

HDM-4 – World Bank Development and Management Model

HDM-III – World Bank Highway Design and Maintenance Standards

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IRI – Índice de Irregularidade Internacional

LTPP – Long-Term Pavement Performance

LTPPM – Long-Term Pavement Performance Maintenance

MEPDG – Mechanistic-Empirical Guide for the Design of New and Rehabilitated
Pavement Structures

PMS – Pavement Management System

RMSs – Road Management Systems

RST – Road Surface Tester

SDR-24 – Standard Data Release 24

SGP – Sistema de Gestão dos Pavimentos

SHRP – Strategic Highway Research Program

SMP – Seasonal Monitoring Program

SPS – Specific Pavement Studies

STA – Swedish Transport Administration

TEP – Technology and Environment Program

VIT – National Road and Transport Search Institute

VWS – Virtual Weather Stations

WP – Walking Profilometer

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

As estradas estão continuamente sujeitas às ações do tráfego e do clima, tendo como consequência a sua progressiva deterioração, tornando-se fundamental a realização periódica de atividades de manutenção e reabilitação por parte das entidades gestoras das infraestruturas.

Os Sistemas de Gestão dos Pavimentos (SGP) têm sido utilizados como ferramenta de apoio à implementação de programas de conservação, os quais contribuem para prolongar o tempo de vida útil de determinada infraestrutura. Contudo, para que aqueles SGP tenham uma aplicação mais ajustada à evolução do estado dos pavimentos ao longo do tempo, é necessário dispor de modelos de previsão para o comportamento dos pavimentos, contribuindo para promover a sustentabilidade e a minimização dos custos inerentes às ações de conservação na rede.

Dentre os vários caminhos que têm sido seguidos para obter modelos de previsão da evolução do estado dos pavimentos, tem alguma relevância a observação sistemática de parâmetros de estado dos pavimentos, os quais são registados numa base de dados. Geralmente, o armazenamento de informação inclui também dados relativos ao tráfego, ao clima, às propriedades dos materiais, às práticas de construção e às patologias associadas, de modo a poder estabelecer alguma relação entre eles. O tratamento e exploração da informação referida permite que as entidades gestoras analisem a evolução do estado da rede rodoviária e, assim, possam tomar decisões para o futuro com base no comportamento histórico dos pavimentos, aumentando a qualidade do serviço.

É na linha da abordagem descrita que se desenvolve a presente dissertação, tendo como elementos de trabalho os registos de informação na base de dados americana do LTPP – *Long-Term Pavement Performance* (desempenho dos pavimentos a longo prazo).

1.2 Objetivos e Metodologia do Trabalho

O objetivo principal deste estudo passava por selecionar e analisar informação registada na base de dados americana do LTPP, para diferentes condições de serviço, de modo a estudar o desenvolvimento, ao longo do tempo, das patologias mais comuns em estruturas de pavimentos flexíveis, as quais são as mais utilizadas na rede rodoviária portuguesa.

Além disso, com base na exploração das séries de dados a escolher, tinha-se como objetivo o desenvolvimento de modelos que permitissem estimar estatisticamente a evolução do estado de conservação dos pavimentos ao longo do tempo, procurando incorporar variáveis que representassem as características dos materiais e as condições de serviço dos pavimentos.

A metodologia seguida para a realização do estudo consistiu na escolha de itinerários da rede rodoviária americana, com informação relevante na base de dados do programa LTPP, de modo a selecionar estados cujo clima se assemelhasse, na medida do possível, ao das regiões representativas do território de Portugal Continental. Com aquela metodologia, procurou estabelecer-se uma analogia entre os comportamentos observados e registados no âmbito do LTPP, e os que poderiam antever-se, para as regiões de Portugal consideradas, para as quais ainda não se dispõe de um registo longo e sistemático de características dos pavimentos e da evolução do seu estado ao longo do tempo.

A extração de dados foi feita através do gestor de base de dados *Access* da *Microsoft*, tendo-se utilizado também a aplicação de navegação - LTPP InfoPave (FWHA a, 2013). Dentre os registos do LTPP, selecionaram-se estradas com características controladas no que diz respeito às soluções de reabilitação aplicadas, tais como a espessura do revestimento usado como reforço, a preparação da superfície antes da execução da reabilitação e o tipo de mistura betuminosa utilizada, de modo a analisar a influência de cada um daqueles parâmetros na evolução do estado dos pavimentos.

Com base nos dados disponíveis e tendo em conta os critérios referidos anteriormente, estabeleceram-se modelos de previsão da variação de diversos parâmetros caracterizadores do estado dos pavimentos com o tempo. Os registos do LTPP permitiram estudar a evolução observada de diferentes tipos de fendilhamento (longitudinal, transversal, bloco ou malha, fadiga ou pele de crocodilo), da desagregação superficial, da irregularidade longitudinal e das rodeiras e, assim, avaliar o desempenho comparativo a longo prazo dos pavimentos flexíveis considerados no estudo.

Numa segunda etapa, estabeleceram-se alguns modelos estatísticos para prever a evolução no tempo de algumas patologias, como as rodeiras e o fendilhamento,

considerando também a ação do tráfego e algumas das características dos materiais betuminosos constituintes dos pavimentos.

1.3 Organização do trabalho

A presente dissertação é constituída por 6 capítulos e 5 apêndices, cujo conteúdo é descrito a seguir.

No presente capítulo são expostos o enquadramento do tema e a descrição dos objetivos a alcançar, bem como a metodologia de trabalho seguida e a organização do documento.

No Capítulo 2 faz-se uma breve descrição do conceito de programa de LTPP, exemplificando com alguns dos projetos existentes. Além disso, apresentam-se os motivos da seleção do programa americano como base do estudo efetuado para esta dissertação.

No Capítulo 3 descreve-se a organização do LTPP selecionado, bem como o tipo de dados registados para as secções dos itinerários sob monitorização no programa. Os campos utilizados no presente estudo, tais como o tráfego, o clima, a estrutura dos pavimentos, as características dos materiais constituintes e as patologias, são alvo de uma explicação mais detalhada. Faz-se ainda referência aos métodos de levantamento dos dados e ao modo como são armazenados na base de dados.

No Capítulo 4 apresentam-se os dados considerados no estudo, os quais foram filtrados a partir da base de dados do LTPP. Escolheram-se estados americanos com base nas suas características meteorológicas, de modo a selecionar localizações com características aproximadamente semelhantes às das regiões portuguesas. Para as secções de teste selecionadas, extraíram-se e analisaram-se os dados do tráfego, da constituição das estruturas dos pavimentos e do desenvolvimento das patologias ao longo do tempo, designadamente diferentes tipos de fendilhamento, a desagregação superficial, a irregularidade longitudinal e as rodeiras.

No Capítulo 5 efetua-se a análise estatística dos dados, de modo a comparar o efeito, na evolução das patologias ao longo do tempo, de algumas variáveis independentes que caracterizam as técnicas de reabilitação aplicadas. As apreciações envolvem a representação gráfica dos valores registados, explicitando a influência da preparação da superfície, da espessura da camada de reabilitação e da aplicação de misturas novas ou com material reciclado. O capítulo inclui ainda análises de regressão multivariada fendilhamento longitudinal, transversal, por fadiga (ou pele de crocodilo), o Índice de Irregularidade Internacional e as rodeiras, fazem parte do estudo das patologias anteriores.

Os cinco Apêndices foram utilizados para o apoio à tomada de decisões, constando:

- do Apêndice I a apresentação, numa primeira fase, dos dados meteorológicos das regiões representativas do clima português e dos estados selecionados, assim como as estações meteorológicas americanas que fornecedoras dessa informação.
- do Apêndice II a exposição dos dados da temperatura segundo o método proposto por Picado-Santos.
- do Apêndice III os valores do tráfego das estradas pertencentes aos estados selecionados.
- do Apêndice IV alguns dos modelos de previsão do estado da Califórnia, uma vez que este estado foi alvo de dois períodos de reabilitação;
- do Apêndice V a apresentação dos resultados do tratamento estatístico, nomeadamente os valores referentes aos coeficientes das variáveis independentes dos modelos de previsão, as variáveis rejeitadas e os histogramas da normalidade dos resíduos.

2 PROGRAMAS DE LTPP

2.1 Generalidades

Os programas de LTPP – *Long Term Pavement Performance* são, na prática, constituídos por uma base de dados onde é armazenada informação acerca de algumas das secções da rede rodoviária sob monitorização. Estas secções podem estar sujeitas a condições de utilização reais, pertencendo a uma estrada da rede, ou estarem sujeitas a condições específicas e controladas pelo próprio programa de LTPP.

A informação é habitualmente recolhida com uma frequência anual, embora possa ser atualizada conforme as necessidades. De acordo com a política de proteção de dados da entidade gestora, os dados podem, ou não, ser de acesso público. Quando a informação não está disponível publicamente, geralmente pode ser cedida através de pedido, devidamente, justificado.

O objetivo do programa consiste em observar o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo, de modo a relacioná-lo com os procedimentos de dimensionamento, os materiais constituintes, as condições ambientais e de tráfego a que foram submetidos, a qualidade da construção e as práticas de manutenção realizadas. Quando os dados recolhidos têm qualidade e quantidade suficientes, é possível desenvolver novos modelos de comportamento, aperfeiçoar os existentes, aferir a qualidade das técnicas de construção e reabilitação, e avaliar a bondade das políticas de gestão da conservação dos pavimentos.

Sendo o propósito principal dos programas de LTPP o prolongamento da vida útil das estruturas dos pavimentos, é necessário recolher uma quantidade substancial de informação sobre os pavimentos em serviço.

Apesar da versatilidade dos programas de LTPP ser de interesse mundial, a recolha e o armazenamento de dados constituem um esforço do país que tem o programa em desenvolvimento. Isso exige uma quantidade significativa de fundos, acessível apenas a países com elevado poder económico (Svensson, 2013). Contudo, existem projetos como o *World Bank Highway Design and Maintenance Standards (HDM-III)* e o *World Bank Development and Management Model (HDM-4)*, financiados pelos EUA que aplicam fundos noutros países, tais como a África do Sul, o Brasil e

o Quênia, onde não existem programas de LTPP nacionais formalmente estabelecidos (Henning, 2008). Este tipo de projetos permite que o país anfitrião registre a informação relativa ao comportamento dos seus pavimentos, possibilitando também um apoio complementar à investigação científica.

Seguidamente, a título de exemplo, faz-se uma breve descrição dos programas de LTPP implementados na Austrália, Nova Zelândia e Suécia, escolhidos por disponibilizarem publicamente a informação relativa aos seus programas. Mais adiante apresenta-se também o programa LTPP americano, objeto de estudo na presente dissertação.

2.2 Exemplos de Alguns Programas de LTPP

2.2.1 O LTPP Australiano (ARRB GROUP, 2013 a)

Desde 1994 que o programa de monitorização dos pavimentos australianos é financiado pela *Austroads* através do *Technology and Environment Program* (TEP). A monitorização do comportamento estrutural e funcional dos pavimentos com secções em teste, não se restringe apenas à recolha dos dados, engloba também a sua análise e organização.

Algumas das secções pertencentes ao programa, possuem configuração específica de forma a permitir a utilização do *Accelerated Loading Facility* (ALF). O ALF é um equipamento que simula o carregamento do tráfego pesado em condições controladas, não estando a secção em teste exposta às condições normais de serviço. Quando comparado com as secções em serviço, a utilização do ALF permite uma avaliação do pavimento num período de tempo mais reduzido.

As restantes secções em estudo seguem os padrões da *Strategic Highway Research Program* (SHRP), entidade fundadora e gestora do LTPP Americano.

De modo a integrar o estudo das práticas de manutenção, foi implementado em 1999 o programa *Long-Term Pavement Performance Maintenance* (LTPPM), sob o financiamento da *Austroads Business Program*. Na Figura 2.1 assinalam-se a amarelo as localizações das secções de teste do LTPPM e a vermelho as do LTPP.



Figura 2.1 – Localização geográfica das secções LTPPM (amarelo) e LTPP (vermelho). (ARRB GROUP, 2013 a)

Apesar do objetivo genérico de todos os projetos de LTPP passar pela melhoria do comportamento dos pavimentos monitorizados, através do prolongamento do seu período de vida útil, o projeto australiano, em particular, tem por objetivos o desenvolvimento de diretrizes para o estabelecimento e monitorização dos locais selecionados no programa de LTPP, e a criação de uma base de dados nacional para arquivo da informação referente ao comportamento dos pavimentos. Estes objetivos prendem-se fundamentalmente com o facto do período de implementação do programa ser ainda reduzido, havendo a necessidade de recolher uma quantidade substancial de dados, de forma a permitir a validação estatística dos modelos do comportamento do pavimento.

No LTPPM e no LTPP são armazenados anualmente os dados referentes às atividades de manutenção e às medições de perfilómetro longitudinal e transversal (rodeiras), assim como a informação relativa à inspeção visual da superfície do pavimento. Da base de dados consta ainda informação relativa ao volume de tráfego e a parâmetros climáticos, tais como a temperatura e a precipitação.

A análise da informação constante na base de dados e a observação das secções em teste, permitiu concluir que o comportamento entre as secções testadas pelo ALF é equivalente ao comportamento dos pavimentos em serviço. No entanto, os efeitos ambientais, a idade do pavimento, o tipo de mistura e o carregamento do tráfego, são dificilmente reproduzidos por aquele tipo de ensaio. Recorde-se que o comportamento das secções dos pavimentos em serviço é regido pelo SHRP LTPP, seguindo por isso, as diretrizes do programa americano.

2.2.2 O LTPP Neozelandês

A previsão do comportamento dos pavimentos neozelandeses foi efetuada numa primeira fase através de um modelo do *World Bank*. Tratando-se de um modelo genérico, que não traduzia a realidade local em termos de condições meteorológicas,

geológicas e ao nível das técnicas de construção, não conseguiu contribuir para a melhoria das técnicas de manutenção e para o prolongamento da vida útil destes pavimentos (NZTA, 2007). Como tal, em 2000 inicia-se o programa de LTPP no país, através do estabelecendo de 63 sítios de teste na rede rodoviária nacional. O programa sofreu uma expansão em 2003, resultando num total de 82 secções de teste (Henning, 2008).

O registo dos equipamentos de monitorização, da técnica utilizada e da precisão das medições, e o armazenamento de dados ficou a cargo da *R & D Consultants*, empresa contratada pela *Transit New Zealand* e pela *Land Transport New Zealand* (entidades gestoras da rede rodoviária nacional).

Dos dados armazenados relativos às secções de teste, inclui-se a localização, a idade e constituição, os dados de tráfego, as ações de manutenção efetuadas e os parâmetros caracterizadores da capacidade de carga dos pavimentos (Henning, 2008).

A quantificação da capacidade de carga das secções foi realizada pela combinação do defletómetro de impacto, FWD – *Falling Weight Deflectometer*, e do *Pile Integrity Tester* (PIT). O PIT é um ensaio não destrutivo que avalia a fundação, através da fixação de um ou dois acelerómetros, utilizando um martelo manual para a produção de um impacto sobre o solo. A interpretação das curvas de aceleração produzidas pelo impacto, permite obter características de resistência da fundação e, assim, inferir sobre a constituição do solo de fundação.

No LTPP neozelandês o estado dos pavimentos é descrito através dos seguintes elementos (Henning, 2004):

- Registo de três medições de irregularidade superficial na zona de passagem dos rodados pelo WP – *Walking Profilometer* (Figura 2.2). Apesar deste equipamento pertencer à ARBB, entidade gestora do LTPP australiano, foi o adotado pelo projeto neozelandês.
- Dupla quantificação de rodeiras a cada 10 metros de secção pelo *Transversal Profile Beam* (TPB), ilustrado na Figura 2.3. O equipamento regista alturas relativas (profundidade do cavado de rodeira) na zona de passagem dos rodados, em distâncias paralelas e verticais, com espaçamentos de 50 mm e 0,5 mm de precisão;
- Quantificação da textura da superfície a cada 10 m de secção, com o auxílio de um perfilómetro estático a laser;
- Registo da informação relativa à inspeção visual dos pavimentos, o que inclui o tipo de patologia, a área/comprimento afetada e a localização dentro da secção de teste. Estes registos seguem a especificação da *Transit New Zealand* de 2000.



Figura 2.2 – Walking Profilometer (ARBB Group, 2013 b)

Tal como nos restantes programas de LTPP, o armazenamento de dados tem por objetivo a previsão a longo prazo do comportamento dos pavimentos através da calibração dos modelos existentes, ou pela criação de novos.

A gestão da informação permite avaliar a capacidade de carga do pavimento a longo prazo e desenvolver novos métodos de ensaio através da aplicação de cargas dinâmicas. A análise dos dados possibilita a calibração dos equipamentos por parte das autoridades locais, tornando o LTPP parte do sistema de acreditação dos mesmos num futuro próximo.



Figura 2.3 – Transverse Profile Beam (Henning, 2008)

A base de dados do programa de LTPP neozelandês foi utilizada para o desenvolvimento de modelos de degradação da rede de pavimentos por Henning (Henning, 2008).

2.2.3 O LTPP Sueco

O programa de LTPP Sueco iniciou-se em 1984 com uma quantidade limitada de secções. Apesar do seu número estar continuamente em expansão, restrições

orçamentais verificadas em 2000 levaram a um decréscimo de 25% no número de locais sob monitorização. Note-se que em 2010 existiam apenas 328 secções de teste dispostas em 35 zonas (VTI, 2010). Atualmente, o programa é constituído por 650 secções, distribuídas ao longo de 65 estradas, tal como se representa na Figura 2.4 (Svensson, 2013).

As secções em teste, ao pertencem à rede rodoviária nacional, traduzem os padrões de construção do país. Apresentam-se em comprimentos uniformes de 100 m e estão submetidas às condições de serviço normais. Encontram-se em maior número na parte sul do país, onde o tráfego é mais intenso e pesado, originando uma maior degradação dos pavimentos, o que condiciona as normais operações de manutenção (Svensson, 2013).

O armazenamento da informação foi solicitado pela *Swedish Transport Administration* (STA) ao *National Road and Transport Search Institute* (VTI). Os dados recolhidos permitem o desenvolvimento de modelos de degradação e de planeamento de ações de manutenção, os quais são utilizados no Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP).

Os modelos do SGP, criados a partir da base de dados do LTPP sueco, incluem as seguintes atividades:

- armazenamento da informação meteorológica (das estações de observação automática nas proximidades) das secções consideradas no programa;
- arquivo de dados relativos ao tráfego, geralmente, a cada quatro anos;
- registo anual das patologias observadas à superfície do pavimento (em conformidade com o manual de inspeção visual nacional);
- monitorização da superfície através do RST – *Road Surface Tester* (Figura 2.5). O equipamento contém 17 ou 19 lasers de elevada precisão acoplados a um veículo desenvolvido pelo VTI. As medições são realizadas a cada 10 cm, calculando-se também o cavado de rodeira do lado esquerdo e direito da via;
- registo do índice de fendilhamento baseado na inspeção visual, através de uma equação que considera parâmetros relativos à pele de crocodilo, fendas longitudinais e transversais, e o seu nível de gravidade. A sua quantificação permitiu formular modelos de previsão de iniciação e propagação de fendilhamento e de avaliação da capacidade de carga com base em ensaios com o FWD.

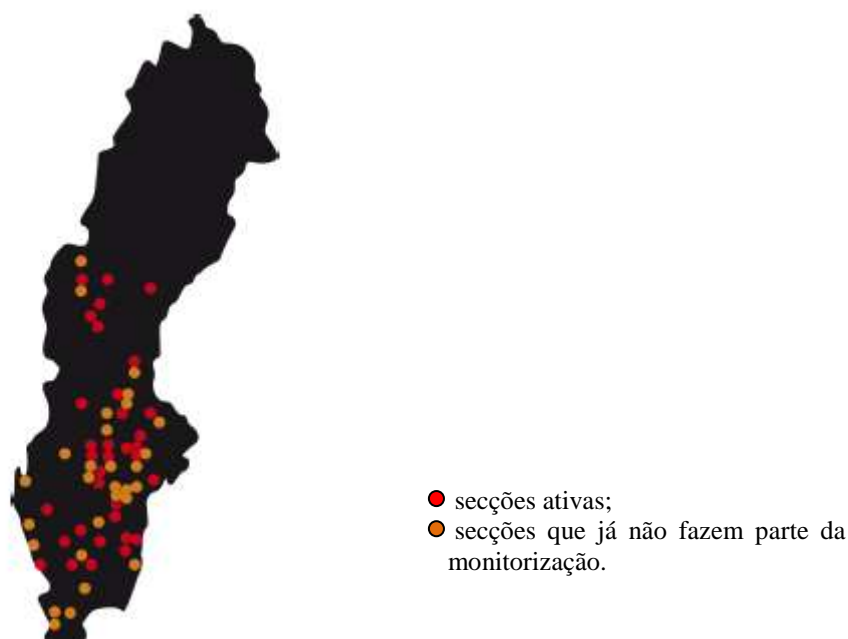


Figura 2.4 – Localização das secções de teste do LTPP sueco (Svensson, 2013)



Figura 2.5 – Road Surface Tester (VTI, 2013)

Da base de dados do LTPP sueco consta também a localização, o tipo, a construção e as propriedades intrínsecas dos materiais pertencentes ao pavimento. Esta informação é utilizada em projetos de investigação, na análise do comportamento dos materiais, nas decisões de manutenção a realizar na rede, na calibração do software de dimensionamento e na validação dos seus modelos (Svensson, 2013).

A informação proveniente do programa foi também utilizada por Svensson em 2013, para a modelação do aparecimento e da propagação de fendilhamento por fadiga, e do desenvolvimento de rodeiras em pavimentos flexíveis, através de aproximações estatísticas, tendo por base as condições do tráfego, do clima, da fundação e da estrutura do pavimento.

2.3 Programa de LTPP Adotado Nesta Dissertação

A criação do programa LTPP americano deve-se ao *Transportation Research Board* (TRB) e à ASSHTO, pelo armazenamento da informação relativa à monitorização e degradação dos pavimentos Norte Americanos (Svensson, 2013).

Tratando-se de um projeto com uma quantidade significativa de informação armazenada e fundos investidos, deu origem a uma base de dados de extrema importância científica, utilizada em publicações, teses e artigos.

A seleção do programa americano para esta dissertação deve-se à quantidade e facilidade de acesso aos dados disponíveis. Nos programas apresentados anteriormente, mais recentes que o do SHRP americano, existem menos dados e com uma cobertura temporal mais curta. O LTPP americano está descrito em maior pormenor no Capítulo 3 deste documento.

2.4 Síntese

Os programas de LTPP incluem geralmente a recolha e o armazenamento sistemático de dados relativos à observação de secções integradas em redes rodoviárias nacionais, ou expressamente construídas para a monitorização sob condições controladas. Tendo como principais objetivos a melhoraria e o desempenho dos pavimentos em serviço, visam a utilização de técnicas de construção e manutenção mais duradouras, de forma a prolongar a vida útil dos pavimentos e reduzir os custos associados à preservação dos mesmos.

Este tipo de programas foi adotado por alguns países, financiados por entidades externas, como o Banco Mundial, e com recurso a financiamento interno. Note-se que os primeiros não desenvolveram os programas na sua plenitude, recolhendo apenas uma quantidade restrita de informação que permita criar uma pequena base de dados com um propósito bem definido.

O LTPP americano, pela sua longevidade, quantidade de dados armazenados e facilidade de acesso aos mesmos, foi o escolhido para as análises realizadas no âmbito desta dissertação.

Quando os dados recolhidos no âmbito do LTPP americano são em quantidade suficiente são validados pelo programa, de modo a desenvolver modelos de previsão de comportamento a longo prazo. Estes modelos, contribuem para um dimensionamento de pavimentos mais ajustado, permitindo também, no âmbito dos SGP, a calibração de modelos de previsão da evolução do estado dos pavimentos existentes. Compreendendo melhor a evolução do estado de degradação dos pavimentos, podem utilizar-se técnicas melhoradas de construção, manutenção e reabilitação.

3 A BASE DE DADOS DO PROGRAMA LTPP AMERICANO

3.1 Considerações Iniciais

O programa americano do LTPP – *Long-Term Pavement Performance* surgiu da necessidade de acompanhar a evolução da deterioração das infraestruturas viárias, através do armazenamento e monitorização ao longo do tempo dos dados recolhidos nas vias em serviço. A criação da base de dados do LTPP *Information Management System* (IMS) remonta ao ano de 1988, constituindo o local onde todos os dados são armazenados e processados.

O LTPP instituiu-se como uma das maiores áreas de interesse do *Strategic Highway Research Program* (SHRP), programa que o fundou e financiou durante os primeiros 5 anos, tendo sido posteriormente entregue à *Federal Highway Administration* (FHWA) e gerido por esta organização a partir de 1991 (FWHA b, 2013).

Atualmente, existem quatro gabinetes regionais que transmitem ao programa as atividades que vão decorrendo nas secções em teste nos Estados Unidos da América (EUA) e no Canadá.

O programa tem como objetivos principais:

- A avaliação dos métodos de dimensionamento atuais;
- O desenvolvimento de metodologias e estratégias para a reabilitação dos pavimentos existentes;
- O desenvolvimento de novos métodos de dimensionamento para pavimentos novos e para a reabilitação dos existentes;
- A determinação dos efeitos das cargas, do ambiente, das propriedades dos materiais, da qualidade da construção e dos diferentes níveis de manutenção associados às patologias;
- A implementação de uma base de dados nacional que suporte os objetivos do SHRP e de outras avaliações futuras.

O LTPP procura contribuir para explicar, à luz do conhecimento atual, o comportamento do pavimento em função da sua estrutura e dos materiais constituintes, das ações do tráfego e do clima, da qualidade da construção e das

práticas de manutenção (Hong et al., 2010). Pela análise dos dados pode ser possível estabelecer e melhorar modelos de previsão de comportamento mecânico, assim como das técnicas de dimensionamento, construção e reabilitação. O programa afirma-se como uma boa ferramenta no apoio à gestão da rede viária.

A informação constante na base de dados *Standard Data Release 24* (SDR-24), atualizada em janeiro de 2010, encontra-se organizada nos seguintes módulos (FHWA, 2009): Administração (ADM); Estações Meteorológicas Automáticas (AWS); Clima (CLM); Resposta a Cargas Dinâmicas (DLR); Georadar – *Ground Penetrating Radar* (GPR); Inventário (INV); Manutenção (MNT); Dimensionamento Empírico-Mecanicista (MEEP DG); Monitorização (MON) – Deflexão (MON_DEFL), Patologias (MON_DIS), Atrito (MON_FRICTION), Perfil (MON_PROFILE), Rodeiras (MON_RUT), Perfil Transversal (MON_T_PROF) – Reabilitação (RHB); Programa de Monitorização Climática (SMP); Estudos Específicos do Pavimento (SPS); Tráfego (TRF) e Ensaio em Materiais (TST).

A SDR-24 divide-se em cinco volumes: Dados Primários, Medições com Defletómetro de Impacto, Dados de Perfil, Dados de Tráfego e *Software* de Análise de Tráfego.

3.2 Informação Relativa ao Desenvolvimento da Rede Viária

As secções em estudo no âmbito do LTPP foram construídas segundo as normas e especificações das administrações rodoviárias envolvidas, encontrando-se em serviço e, portanto, submetidas ao tráfego real. Podem ser classificadas como GPS – *General Pavement Studies* ou SPS – *Specific Pavement Studies*. No primeiro caso, são consideradas as secções de pavimentos já existentes e em serviço à data do início do LTPP, enquanto no segundo caso são incluídas vários tipos de secções que envolvam diferentes formas de intervenção (construção nova, tratamento de manutenção ou reabilitação).

Os pavimentos pertencentes ao programa GPS pretendem evidenciar as boas práticas no que toca à escolha de materiais e ao dimensionamento estrutural dos pavimentos, apresentando interesse numa perspetiva/estratégia futura. Uma vez que o programa abrange todo o território Norte-Americano, os estudos são limitados a estruturas de uso comum nos EUA.

As secções abrangidas pelo programa GPS pertencem a pavimentos cuja construção se realizou 15 anos antes do início do programa do LTPP. Embora não existam registos dos primeiros anos de serviço, é possível obter resultados a partir de novas secções de teste.

No Quadro 3.1 encontram-se os diferentes tipos de soluções construtivas monitorizadas no programa do LTPP.

As secções abrangidas pelo programa SPS suportam o estudo detalhado e a longo prazo dos pavimentos sob observação, complementando a informação do programa GPS. Um conjunto de aspetos controlados, tais como o dimensionamento das estruturas e as características de construção, manutenção e reabilitação são comuns às secções SPS.

Às múltiplas secções de teste consideradas, podem ser adicionadas secções suplementares, de acordo com as necessidades das agências rodoviárias. Os fatores investigados nestas secções dependem dos interesses individuais de cada administração, podendo ser diferentes entre as diferentes administrações.

Quadro 3.1– Lista de soluções construtivas pertencentes ao programa GPS (FHWA, 2009)

Ensaio	Designação da Solução de Pavimentação
GPS-1	Pavimento Betuminoso de Base Granular
GPS-2	Pavimento Betuminoso de Base Aglutinada
GPS-3	Pavimento Rígido com Betão com Juntas
GPS-4	Pavimento Rígido com Betão Armado com Juntas
GPS-5	Pavimento Rígido com Betão Armado Contínuo
GPS-6A	Pavimento Betuminoso com Camada de Reforço Betuminosa
GPS-6B	Pavimento Betuminoso com Betume Convencional na Camada de Desgaste – Sem Fresagem
GPS-6C	Pavimento Betuminoso com Betume Modificado – Sem Fresagem
GPS-6D	Reforço Betuminoso sobre Anterior Reforço de Pavimento Betuminoso Convencional
GPS-6S	Pavimento Betuminoso com Betume Modificado ou Convencional, com Camada de Desgaste Anterior Removida por Fresagem
GPS-7A	Pavimento Rígido com Camada de Reforço Betuminosa
GPS-7B	Pavimento Rígido com Camada de Reforço Betuminosa Convencional
GPS-7C	Pavimento Rígido com Camada de Reforço com Betume Modificado
GPS-7D	Reforço Betuminoso sobre Anterior Reforço Betuminoso Convencional de Pavimento Rígido
GPS-7F	Pavimento Rígido Fraturado com Reforço Betuminoso incorporando Betume Convencional ou Modificado
GPS-7R	Tratamentos de Reabilitação de Pavimentos de Betão sem Reforço
GPS-7S	Segundo Reforço Betuminoso, o qual inclui Fresagem ou Aplicação de Geotêxtil, sobre Pavimento Rígido sem Reforço Betuminoso Anterior
GPS-9	Camada de Reforço em Betão de Cimento Dessolidarizada do Pavimento Rígido Existente

Tal como mostra o Quadro 3.2, existem nove grupos de secções SPS, de SPS-1 a SPS-9, integrados em cinco categorias que envolvem a monitorização da construção de secções novas, ou de secções já existentes que sofreram tratamentos de manutenção ou reabilitação durante o seu tempo de serviço.

Na presente dissertação são analisados dados referentes aos estudos do tipo SPS-5 — Reabilitação de Pavimentos Betuminosos — nos quais são estudados o nível de realização de trabalhos de preparação da superfície existente, a espessura da camada reabilitada e a utilização de materiais reciclados ou novos nas novas camadas. A monitorização utilizada nestes estudos observa as condições atuais no pavimento e estima o carregamento do tráfego. No SPS-5 fazem a monitorização do comportamento de oito combinações de camadas betuminosas, colocadas sobre pavimentos já existentes, abordadas com maior pormenor no Capítulo 4. Além disso, analisam a evolução das patologias, tal como o fendilhamento (longitudinal, transversal, por fadiga e em malha), a desagregação superficial, o índice de irregularidade internacional (IRI) e as rodeiras.

Quadro 3.2 – Lista dos estudos pertencentes ao programa SPS (FWHA, 2009)

Categoria	Ensaio	Designação do Estudo
Fatores Estruturais do Pavimento	SPS-1	Estudos Estratégicos dos Fatores Estruturais de Pavimentos Flexíveis
	SPS-2	Estudos Estratégicos dos Fatores Estruturais de Pavimentos Rígidos
Práticas de Manutenção do Pavimento	SPS-3	Eficácia das Práticas de Manutenção Preventivas de Pavimentos Flexíveis
	SPS-4	Eficácia das Práticas de Manutenção de Pavimentos Rígidos
Práticas de Reabilitação do Pavimento	SPS-5	Reabilitação de Pavimentos Betuminosos
	SPS-6	Reabilitação de Pavimentos de Betão de Cimento com Juntas
	SPS-7	Reforço com Betão de Pavimentos Rígidos
Efeitos Ambientais	SPS-8	Estudo dos Efeitos Ambientais na Ausência de Carregamentos Pesados
Especificações das Misturas Betuminosas	SPS-9P	Validação e Refinamentos das Especificações Superpave para Materiais Betuminosos e para o Processo de Formulação de Misturas

Cada secção de teste, quer se trate do programa GPS ou SPS, tem 152 m de extensão (com exceção das secções SPS-6), com zonas de controlo antes e depois destas, com 152 e 76 m, respetivamente, tal como ilustrado na Figura 3.1.



Figura 3.1– Configuração de uma secção do programa GPS genérico (adaptado de FHWA, 2009)

A Figura 3.2 retrata esquematicamente o modelo simples de um projeto SPS. Uma vez que este consiste em secções de teste múltiplas, as zonas de controlo de manutenção poderão estar separadas por distâncias significativas, de forma a englobar todos os grupos de secções de estudo adjacentes.

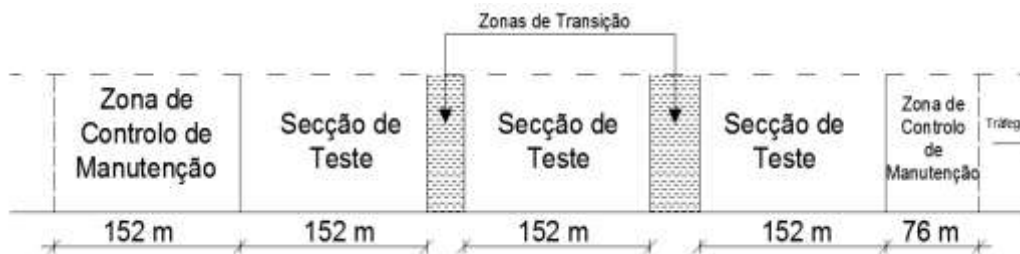


Figura 3.2 – Configuração de um modelo do programa SPS genérico (adaptado de FHWA, 2009)

Pela filosofia do LTPP, nas secções de teste não é permitida a realização de ensaios destrutivos ou amostragens dentro das zonas de monitorização.

3.3 Tráfego (FHWA, 2009)

No módulo do Tráfego (*Traffic Module*) são registados os dados provenientes da monitorização do mesmo nas secções em teste. Aqueles dados são utilizados para a avaliação da qualidade do pavimento percecionada pelo utente, para o cálculo da estimativa anual de tráfego e para a previsão do comportamento do pavimento.

O fornecimento dos dados do tráfego é assegurado pelas administrações rodoviárias, de acordo com as necessidades do LTPP, embora possam verificar-se limitações tecnológicas e de recursos para monitorização do mesmo. Previamente à introdução dos dados no programa, os registos da monitorização são armazenados na base de dados central de tráfego (CTDB – *Central Traffic Database*). O armazenamento dos dados é regido pelos seguintes princípios:

- a estimativa do carregamento dos dados do tráfego deverá refletir sempre que possível as medições *in situ*, isto é, os dados medidos devem ser concordantes, na medida do possível, com as estimativas calculadas;
- os dados provenientes de qualquer localização deverão ser compilados, submetidos, revistos e agregados sem modificação dos valores estimados;
- os dados incluídos na base de dados seguem o princípio da “*verdade dos dados*”:
 - deverão ser comunicadas as práticas e as condições em que foram armazenados;
 - os dados revistos devem ser documentados e os originais terão de ser mantidos;
 - a discrepância de estimativas deve ser comunicada quando possível.

Os dados de tráfego adotados no LTPP seguem o formato do padrão federal da FHWA, ou seja, correspondem a volumes horários de tráfego, discriminados por tipo de veículo e cargas por eixo, tal como apresentado na Figura 3.3.








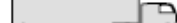
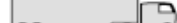
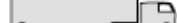


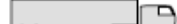


Classe	Descrição	N.º de Eixos
1	 Motociclos	2
2	 Leigos com reboque, 1 eixo com reboque, 2 eixos	2 3 4
3	 Pick-ups e Vans com reboque, 1 & 2 eixos	2, 3, & 4
4	 Autocarros	2 & 3
5	 2 eixos, simples	2
6	 3 eixos, simples	3
7	 4 eixos, simples	4
8	 2 eixos, trator 1 eixo, reboque (2&1)	3
	 2 eixos, trator 2 eixos, reboque (2&2)	4
	 3 eixos, trator 1 eixo, reboque (3&1)	4
9	 3 eixos, trator 2 eixos, reboque (3&2)	5
	 3 eixos, pesado com reboque, 2 eixos	5
10	 Trator com reboque simples	6 & 7
11	 5 eixos, multi-reboque	5
12	 6 eixos, multi-reboque	6
13	7 ou mais eixos	7 ou mais

Figura 3.3 – Classificação de Veículos da FHWA (adaptado da FHWA, 2013 c)

Como forma de responder às necessidades dos utilizadores, é possível converter os carregamentos registados para os pavimentos em eixos equivalentes simples (tal como definidos pela AASHTO), através do programa de cálculo ESALCalc. Os dados foram ainda formatados para poderem ser utilizados no novo método de dimensionamento Americano, conhecido por *Mechanistic-Empirical Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement Structures* (MEPDG) (FWHA, 2009).

A informação relativa ao tráfego está alojada na base de dados do LTPP na tabela TRF_MON_EST_ESAL, a qual é formada por vários campos, dos quais se destaca:

- ✓ ANL_KESAL_LTPP_LN_YR - estimativa anual do número de eixos-padrão de 80 kN (em milhares) na via de LTPP em estudo.

Na Figura 3.4 mostra-se, a título exemplificativo, um excerto da tabela indicada, a qual é utilizada mais adiante neste estudo para extrair dados de tráfego.

STATE_CODE	SHRP_ID	YEAR_MON	AADT_ALL	AADT_TRUC	AADT_ALL	AADT_TRUCK_COMBO	ANL_ESAL_LTPP_LN_YR	NO_CLASSE	EST_ESAL_S
1	0100	1991				689	302		
1	0100	1992				709	311		
1	0100	1993				731	320		
1	0100	1994				753	330		
1	0100	1995				775	339		

Figura 3.4 – Excerto da tabela TRF_MON_EST_ESAL, Volume 4 (FHWA, 2010)

3.4 Clima

No módulo do Clima (*Climate Module*) são registados os dados recolhidos nas estações meteorológicas mais próximas das secções de teste. O cálculo das estimativas de alguns parâmetros climáticos do local é baseado, sempre que possível, num mínimo de cinco estações meteorológicas mais próximas.

A base de dados climática foi desenvolvida em 1992 pelo SHRP, tendo sido revista e expandida pelo próprio programa LTPP a partir de 1997. Atualmente, através do *National Climatic Data Center* (NCDC) e do *Canadian Climatic Center* (CCC), é possível reunir uma quantidade significativa de dados, com os quais se procede ao cálculo de estatísticas diárias, mensais e anuais de vários parâmetros climáticos, tais como a humidade, a precipitação, a temperatura e o vento.

Para caracterizar as condições climáticas de cada secção dentro do próprio programa, utilizam-se dois tipos de fontes de dados. No *Seasonal Monitoring Program* (SMP) – estudo do impacto diário/anual das mudanças de temperatura e de humidade nas estruturas dos pavimentos e da resposta ao carregamento do tráfego – estão armazenados os dados recolhidos *in situ* nas secções GPS e SPS. No entanto, tal como foi descrito anteriormente, para a maioria das secções de teste a informação é obtida pela estimativa de, pelo menos, cinco das estações meteorológicas mais próximas. As estimativas obtidas para os dados *in situ* estão armazenadas no módulo *Virtual Weather Stations* (VWS), dentro do programa do LTPP. O processo pode ser esquematizado pela Figura 3.5, sendo que cada estação meteorológica genérica V_k transmite a informação ao SMP, distando genericamente R_k . A equação (3.1) permite proceder ao cálculo das estimativas VWS, as quais são armazenadas no mesmo módulo.

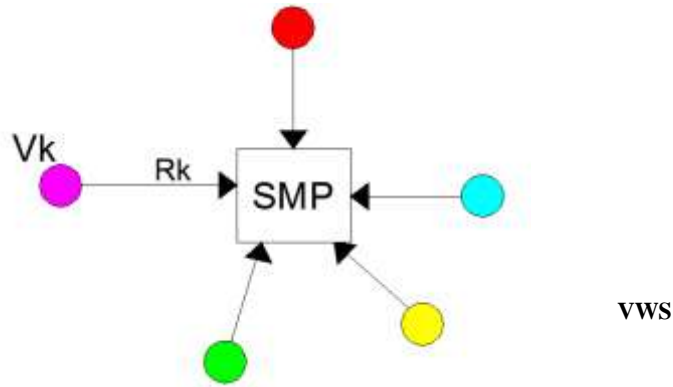


Figura 3.5 – Esquema conceitual da VWS (adaptado de FHWA, 2006)

$$V_m = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{V_{mi}}{R_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{R_i^2}} \quad (3.1)$$

Onde:

V_m – Estimativa das *Virtual Weather Stations* no dia m ;

k – Número de estações meteorológicas associadas à secção (no mínimo 5);

V_{mi} – Valor medido no dia m , na estação meteorológica i ;

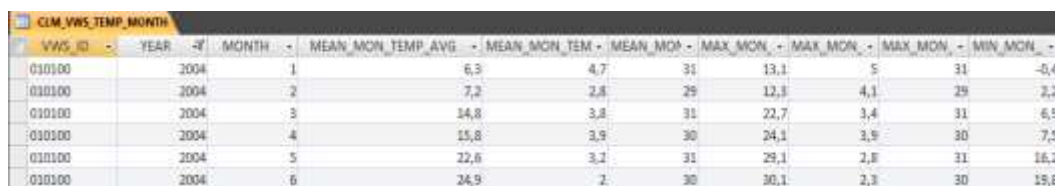
R_i – Distância da estação meteorológica i à secção.

De forma a avaliar e desenvolver diferentes métodos para o cálculo de estimativas, os dados provenientes das estações virtuais foram comparados com os dados medidos (FHWA, 2006). Os fatores inerentes à precisão e às tendências de variação também foram estudados, tendo-se verificado o seguinte:

- as estimativas diárias, mensais e anuais têm uma precisão razoável;
- as médias das cinco estações meteorológicas mais próximas fornecem melhores estimativas globais da temperatura que os valores derivados da estação meteorológica mais próxima;
- para as estimativas das VWS deve ser usado o inverso da distância, devendo sempre que possível evitar-se a utilização do quadrado do inverso da distância e as estimativas com base na estação meteorológica mais próxima de cada uma das secções;

- uma vez que o clima sofre alterações significativas com a altitude, as diferenças de cota entre estações deve ser limitado a 250 m, podendo, contudo, corrigir-se as estimativas através de um algoritmo;
- os parâmetros estimados não sofrem alterações resultantes da distância e da latitude (norte-sul) num alcance de 60 km;
- as estimativas das VWS encontram-se num intervalo razoável, tendo em conta a variação medida dentro do local e a variação anual dos dados.

A informação referida consta na tabela CLM_VWS_TEMP_MONTH da base de dados, cujo campo MEAN_MON_TEMP_AVG traduz os valores da média diária da temperatura do ar por mês, tal como demonstrado na Figura 3.6.



VWS_ID	YEAR	MONTH	MEAN_MON_TEMP_AVG	MEAN_MON_TEMP	MEAN_MON	MAX_MON	MAX_MON	MAX_MON	MIN_MON
010100	2004	1	6,3	4,7	31	13,1	5	31	-5,4
010100	2004	2	7,2	2,8	29	12,3	4,1	29	2,2
010100	2004	3	14,8	3,3	31	22,7	3,4	31	6,9
010100	2004	4	15,8	3,9	30	24,1	3,9	30	7,5
010100	2004	5	22,6	3,2	31	29,1	2,8	31	16,2
010100	2004	6	24,9	2	30	30,1	2,3	30	19,8

Figura 3.6 - Excerto da tabela CLM_VWS_TEMP_MONTH, Volume 1 (FHWA, 2010)

3.5 Estrutura dos Pavimentos

A informação referente à estrutura/constituição dos pavimentos das secções de teste está reunida no módulo Administrativo — *Administration Module* — do LTPP.

Os dados são retirados por interpretação de alguns dos campos da tabela SECTION_LAYER_STRUCTURE (Figura 3.7), entre os quais:

- ✓ DESCRIPTION: informação acerca dos tipos de camadas estruturais da secção (exemplo: camada de desgaste, base, sub-base, ...)
- ✓ LAYER_TYPE: indica o material genérico de cada camada (exemplo: betão betuminoso, betão de cimento, camada de base tratada, camada de base não tratada,...)
- ✓ REPR_THICKNESS: espessura representativa da camada;
- ✓ MATL_CODE: tipo de material de pavimentação (exemplo: betão betuminoso a quente (mistura densa), betão betuminoso reciclado a quente em central, betão de cimento).

SECTION_LAYER_STRUCTURE									
SHRP_ID	STATE_CODE	CONSTRUCT	LAYER_NO	DESCRIPTION	LAYER_TYPE	REPR_THICK	MATL_CODE	LAYER_COM	LAYER_COM
0113		5	1	1	7.55		214		
0113		5	1	2	5 GB	8.1	302		
0113		5	1	3	4 AC	2.5	1		
0113		5	1	4	3 AC	1.5	1		

Figura 3.7 – Excerto da tabela SECTION_LAYER_STRUCTURE, Volume 1 (FHWA, 2010)

3.6 Materiais Constituintes dos Pavimentos

No módulo dos Materiais de Teste — *Materials Testing Module* — conhece-se a informação referente aos ensaios realizados no campo e às amostras de materiais, designadamente:

- Verificar e documentar as técnicas construtivas utilizadas;
- Conhecer e analisar as propriedades dos materiais que incorporam a estrutura dos pavimentos, através da observação do seu comportamento.

O LTPP centra-se nos materiais de uso comum aplicados no início da construção da secção, de modo a reunir um conjunto completo de resultados para a totalidade do tempo de serviço do pavimento. Os parâmetros existentes nos finais de 1980 serviram de base inicial ao programa para a caracterização dos materiais. Em 1990 foram incluídos alguns parâmetros adicionais, destacando-se o módulo de deformabilidade dos materiais betuminosos.

Com base nas amostras provenientes das estruturas dos pavimentos, algumas recolhidas durante o período de construção, foi possível ao programa reunir informação acerca dos materiais daquelas amostras e dos protocolos de ensaios. A informação está documentada no *SHRP-LTPP Interim Guide for Laboratory Materials Handling and Testing* e *SHRP-LTPP Guide for Field Materials Sampling, Testing, and Handling* (FHWA, 2009). No entanto, para cada ensaio SPS em particular, foram recolhidas amostras de materiais e elaborados guias de ensaio.

Em 1989, a partir de secções GPS, o LTPP iniciou uma campanha de extração de amostras e de realização de ensaios laboratoriais. A principal responsável pela maioria dos ensaios aos materiais é a administração rodoviária que gere a rede onde se localiza a secção, embora alguns sejam efetuados pelos laboratórios do LTPP.

Os ensaios realizados em cada secção de teste são dependentes do tipo de materiais, da espessura e do tipo das camadas do pavimento. Os requisitos do ensaio variam de acordo com os objetivos atribuídos à secção, podendo a camada não ter espessura suficiente para a exigência do ensaio ou quantidade suficiente de material para o efetuar.

As tabelas TST_AC02/03 e TST_AE02/04 contêm a informação referente aos materiais testados e analisados nesta dissertação.

O cálculo da porosidade é efetuado com base nos dados das tabelas TST_AC02 e TST_AC03, tal como se ilustra nas Figuras 3.8 e 3.9, respetivamente, utilizando a expressão (3.2).

$$Porosidade = \frac{MAX_SPEC_GRAVITY - BSG}{MAX_SPEC_GRAVITY} \times 100 \quad (3.2)$$

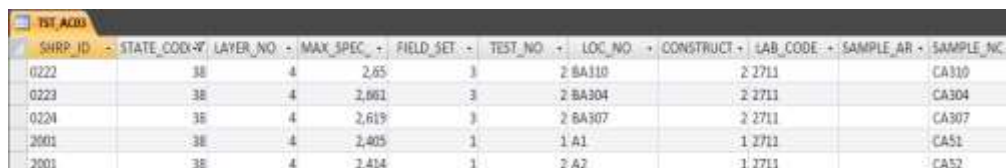
Sendo:

- ✓ BSG: um campo da tabela TST_AC02 que armazena a informação referente à baridade, em kg/m³;
- ✓ MAX_SPEC_GRAVITY: um campo da tabela TST_AC03 com os dados da baridade máxima teórica, em kg/m³.



SHRP_ID	STATE_CODE	LAYER_NO	BSG	FIELD_SET	TEST_NO	LOC_NO	CONSTRUCT	LAB_CODE	SAMPLE_AIR	WATER_AIR
0101	10	4	2,467	1	1 C21		1 1311	09		0
0101	10	4	2,377	1	1 C22		1 1311	09		1
0101	10	4	2,382	1	1 C23		1 1311	09		1
0101	10	4	2,424	1	1 C24		1 1311	09		1

Figura 3.8 – Excerto da tabela TST_AC02, Volume 1 (FHWA, 2010)

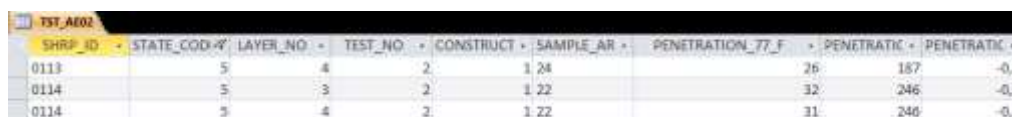


SHRP_ID	STATE_CODE	LAYER_NO	MAX_SPEC	FIELD_SET	TEST_NO	LOC_NO	CONSTRUCT	LAB_CODE	SAMPLE_AIR	SAMPLE_NC
0222	38	4	2,65	3	2 BA310		2 2711			CA310
0223	38	4	2,661	3	2 BA304		2 2711			CA304
0224	38	4	2,619	3	2 BA307		2 2711			CA307
2001	38	4	2,405	1	1 A1		1 2711			CA51
2001	38	4	2,414	1	2 A2		1 2711			CA52

Figura 3.9 – Excerto da tabela TST_AC03, Volume 1 (FHWA, 2010)

Os resultados da penetração, a 77°F (25°C), do betume utilizado no fabrico das misturas betuminosas estão armazenados no campo PENETRATION_77F da tabela TST_AE02. Estes dados referem-se a valores médios calculados para o material da camada superficial da secção de teste.

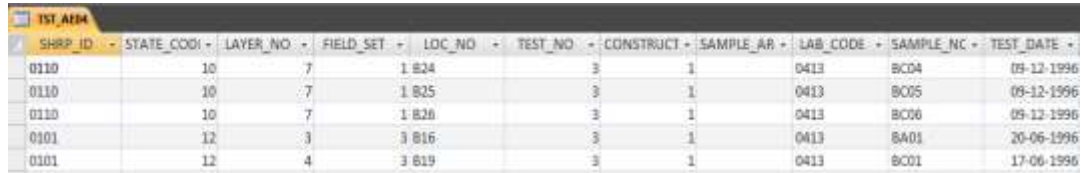
Uma parte das tabelas referidas é visível na Figura 3.10.



SHRP_ID	STATE_CODE	LAYER_NO	TEST_NO	CONSTRUCT	SAMPLE_AIR	PENETRATION_77_F	PENETRATION_77_F	PENETRATION_77_F
0113	5	4	2	1 24		26	187	-0,1
0114	5	3	2	1 22		32	246	-0,3
0114	5	4	2	1 22		31	246	-0,4

Figura 3.10 - Excerto da tabela TST_AE02, Volume 1 (FHWA, 2010)

Na tabela TST_AE04, reproduzida parcialmente na Figura 3.11, estão representados os valores da percentagem em betume, registados no campo ASPHALT_CONTENT_MEAN.



SHRP_ID	STATE_CODE	LAYER_NO	FIELD_SET	LOC_NO	TEST_NO	CONSTRUCT	SAMPLE_AR	LAB_CODE	SAMPLE_NC	TEST_DATE
0110	10	7	1	824	3	1	0413	BC04		09-12-1996
0110	10	7	1	825	3	1	0413	BC05		09-12-1996
0110	10	7	1	826	3	1	0413	BC06		09-12-1996
0101	12	3	3	816	3	1	0413	BA01		20-06-1996
0101	12	4	3	819	3	1	0413	BC01		17-06-1996

Figura 3.11- Excerto da tabela TST_AE04, Volume 1 (FHWA, 2010)

3.7 Patologias

Mesmo antes da entrada ao serviço de um pavimento rodoviário, este já foi submetido a ações atmosféricas que contribuiram para a sua degradação. Após a entrada ao serviço, fatores como o tráfego, os materiais constituintes do pavimento e as condições climáticas influenciam a redução progressiva da qualidade inicial das estruturas dos pavimentos.

Assim, quando a ação do tráfego A_i atua sobre um pavimento de propriedades P_i e geometria de materiais G_i , sob determinadas condições climáticas, dá origem a solicitações S_i que alteram as propriedades iniciais dos materiais. Novas solicitações sobre o “novo material” de propriedades P_{i+1} , geram solicitações S_{i+1} e assim sucessivamente. Este processo de evolução está descrito esquematicamente na Figura 3.12. (Pereira et al, 1999).

A repetição de cargas e a ação contínua dos agentes climáticos levam à degradação dos materiais e à consequente redução da capacidade resistente do pavimento. A alteração contínua das propriedades dos materiais e consequentemente do comportamento em geral, promovem a deformação das estruturas dos pavimentos rodoviários. A evolução das degradações de um pavimento é explicada pelo “princípio da cadeia de consequências”. Uma degradação não evolui isoladamente no tempo, originando outros tipos de degradações que interagem com as primeiras, criando uma atividade cíclica de interação mútua (Branco et al, 2008).

A evolução da degradação está dependente dos fatores passivos e ativos. Enquanto que os primeiros são característicos dos pavimentos (espessura das camadas, materiais constituintes e qualidade da construção), os últimos referem-se a ações a que estão sujeitos (tráfego e clima).

Os dados das patologias estão armazenados no módulo da Monitorização de Pavimentos — *Pavement Monitoring Module*. Neste módulo é possível encontrar

informação referente ao registo manual e fotográfico das patologias, distorção do perfil transversal, perfil longitudinal, atrito, drenagem e deflexão. Os dois últimos parâmetros não são objeto de análise neste documento por estarem para além do âmbito dos estudos que se pretendia realizar.

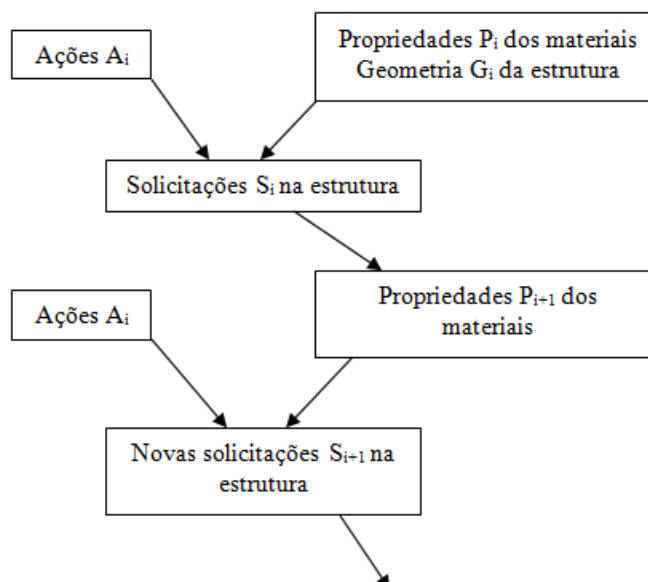


Figura 3.12 – Evolução das solicitações num pavimento rodoviário (Pereira et al, 1999)

3.7.1 Fendilhamento

Dentro das patologias mais comuns nos pavimentos flexíveis, o fendilhamento é a que possui maior número de ocorrências. As fendas mais comuns resultam da repetição excessiva de esforços de tração por flexão nas camadas aglutinadas, resultando na fadiga dos materiais betuminosos e consequente redução da qualidade estrutural do pavimento (Branco et al, 2008).

Nos pavimentos com elevadas espessuras de camadas betuminosas, por vezes, observam-se fendas com origem na superfície que se propagam até alguns centímetros de profundidade. Este tipo de fendilhamento pode estar associado a deficiências na construção das camadas betuminosas, ou a esforços elevados induzidos à superfície por tráfego particularmente severo (Freitas, 2004).

Dos vários tipos de fendilhamento que podem observar-se à superfície, a base de dados do LTPP dispõe de informação relativa ao fendilhamento longitudinal, transversal, em bloco (ou malha) e por fadiga (ou pele de crocodilo). Por uma questão de simplicidade de apresentação, neste texto optou-se por manter a terminologia adotada pelo LTPP.

Os dados resultantes dos vários tipos de fendilhamento provêm da observação das condições das superfícies dos pavimentos. O primeiro método de obtenção de dados utilizado no programa foi o fotográfico, tendo o seu armazenamento, interpretação e pesquisa, levado à elaboração de um manual de inspeção para as secções de teste do LTPP – *Distress Identification Manual for the LTPP Project* (Figura 3.13). Este manual possui as diretrizes necessárias para a identificação, quantificação e interpretação das patologias.

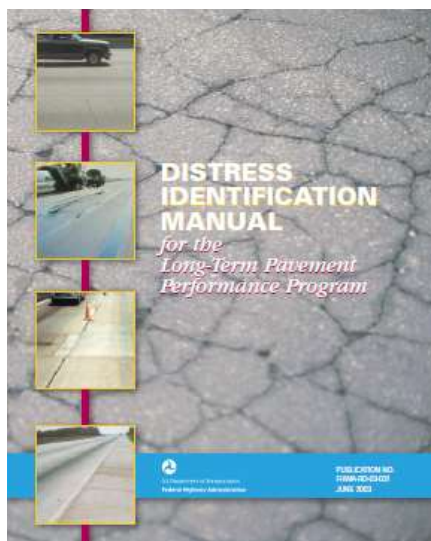


Figura 3.13 – Manual de Inspeção para secções de teste do LTPP (FHWA, 2003)

Os dados referentes ao fendilhamento encontram-se na tabela MON_DIS_AC_REV, visível na Figura 3.14.

MON_DIS_AC_REV									
STATE_CODI	SHRP_ID	SURVEY_DA	CONSTRUCT	GATOR_CRA	BLK_CRACK	RAVELING	LONG_CRAC	TRANS_CRA	
5 A310		08-02-1991	2	0	0	0	0	0	0
5 A310		09-09-1991	2	0	0	0	0	0	0
5 A310		07-12-1994	2	0	0	152,5	0	0	0
5 A310		15-06-1995	2	0	0	0	0	0	0
5 A310		07-08-1997	2	0	0	0	0	0	0

Figura 3.14 - Excerto da tabela MON_DIS_AC_REV, Volume 1 (FHWA, 2010)

- Fendilhamento Longitudinal

O fendilhamento longitudinal caracteriza-se pelo aparecimento de fendas aproximadamente paralelas ao eixo da via, podendo ou não, localizar-se na zona de passagem dos rodados (FHWA, 2003). Resulta da ocorrência de esforços de tração por flexão, da deficiente qualidade das misturas betuminosas, ou da fraca capacidade de suporte da fundação perante um estado hídrico desfavorável. Habitualmente, as fendas visíveis resultam da sua propagação desde as camadas ligadas inferiores até à

superfície. Podem resultar também da dificuldade de compactar eficazmente a extremidade da zona pavimentada, quando duas vias adjacentes não são efetuadas em simultâneo (Capitão, 2012).

Para a quantificação do fendilhamento longitudinal, efetuou-se a soma dos campos seguintes, constantes na tabela MON_DIS_AC_REV:

- ✓ LONGITUDINAL_CRACK_WP_L/L/M/H: comprimento das fendas longitudinais, não seladas, na zona de passagem dos rodados) (m);
- ✓ LONGITUDINAL_CRACK_NWP_L/L/M/H: comprimento das fendas longitudinais, não seladas, fora da zona de passagem dos rodados) (m).

- Fendilhamento Transversal

O fendilhamento transversal caracteriza-se pelo aparecimento de fendas perpendiculares ao eixo da via. Problemas construtivos e retrações térmicas do material localizado em climas frios, são habitualmente a origem deste tipo de fendilhamento (Branco et al, 2008).

- ✓ O comprimento das fendas transversais encontra-se armazenado na tabela anterior, no campo TRANSVERSE_CRACK_L_L/M/H (m).

- Fendilhamento em Bloco (ou malha)

O fendilhamento em bloco ou malha refere-se à divisão do pavimento em zonas aproximadamente retangulares. Uma vez que resulta do cruzamento entre fendas longitudinais e/ou transversais, corresponde a um estado evolutivo seguinte a estas, tendo as mesmas causas.

- ✓ O campo BLK_CRACK_A_L/L/M/H, da tabela MON_DIS_AC_REV, caracteriza a área fendilhada em bloco ou malha (m²).

- Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)

O fendilhamento por fadiga, tal como é considerado pelo LTPP, corresponde à ligação de fendas ramificadas. As suas causas são semelhantes às do fendilhamento em geral, podendo evoluir para estados de degradação mais severos com a ausência de ações preventivas de conservação. A falta de impermeabilidade leva ao rápido aumento da área afetada.

- ✓ Na tabela MON_DIS_AC_REV, a área fendilhada por fadiga é caracterizada pelos campos GATOR_CRACK_A_L/L/M/H (m²).

3.7.2 Desagregação Superficial

A desagregação superficial caracteriza-se pelo desprendimento dos agregados à superfície do pavimento. A falta de estabilidade da ligação dos materiais da mistura, ao tornar os agregados grossos mais salientes, leva a um aumento da macrotextura que contribui para a perda da qualidade da camada de desgaste.

A deficiente qualidade dos materiais e/ou quantidade de ligante, agravado pelo tráfego pesado e/ou pela espessura insuficiente da camada de desgaste, originam o desgaste rápido da argamassa de betume. Como consequência, dá-se o aumento do ruído, do desgaste dos pneus e da capacidade de drenagem superficial do pavimento (Branco et al, 2008).

Tal como nos diferentes tipos de fendilhamento, a informação referente à desagregação superficial também se encontra na tabela MON_DIS_AC_REV, cujo excerto se encontra na Figura 3.14.

- ✓ O campo RAVELING, representa a área de desagregação superficial (m²).

3.7.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

A irregularidade longitudinal é caracterizada por defeitos geométricos na camada de desgaste, provocando vibrações que alteram a segurança da condução e o conforto dos utentes (Branco et al, 2008).

O IRI é um parâmetro internacional que pode ser comparado entre diferentes países, interferindo no custo de operação dos veículos, no conforto dos utentes e no ambiente.

Através de medições de perfil longitudinal, por perfilómetros inerciais, obtêm-se dados sobre a regularidade do pavimento, a qual é geralmente quantificada através do Índice de Irregularidade Internacional (IRI).

Os equipamentos de medição (*lasers*) são instalados na parte dianteira do veículo, ocupando, pelo menos, três posições diferentes, de modo a recolherem informação ao longo da zona de passagem dos rodados e ao longo centro da via. Na Figura 3.15 encontra-se o perfilómetro utilizado no âmbito do LTPP.



Figura 3.15 - Perfilómetro de alta velocidade (International Cybernetics, 2013)

- ✓ Na tabela MON_PROFILE_MASTER da base de dados do LTPP, parcialmente reproduzida na Figura 3.16, encontram-se os valores referentes ao IRI registados no campo IRI_AVERAGE (m/km).

MON_PROFILE_MASTER									
STATE_CD	SHRP_ID	CONSTRUCT	PROFILE_DATE	IRI_AVERAG	PROFILE_TM	RUN_NUMB	RECORD_ST	LOAD_DATE	SOFTWARE
2	1001	1	28-05-1990	1,265	05:17:39	1	E	1-1992 15:55:29 3.0 SN036	
2	1001	1	28-05-1990	1,227	05:17:39	2	E	1-1992 15:55:29 3.0 SN036	
2	1001	1	28-05-1990	1,246	05:17:39	3	E	1-1992 15:55:29 3.0 SN036	
2	1001	1	28-05-1990	1,231	05:17:39	4	E	1-1992 15:55:29 3.0 SN036	

Figura 3.16 - Excerto da tabela MON_PROFILE_MASTER, Volume 1 (FHWA, 2010)

3.7.4 Rodeiras

As rodeiras são deformações permanentes do perfil transversal do pavimento, observadas à superfície, que se desenvolvem longitudinalmente na zona de passagem dos rodados. Devem-se à falta de qualidade dos materiais, à insuficiente capacidade de carga do solo de fundação, ao subdimensionamento das camadas granulares, a temperaturas elevadas e ao tráfego lento, canalizado e pesado (Branco et al, 2008).

A informação sobre as rodeiras é baseada na interpretação dos resultados obtidos pelo levantamento do perfil transversal, quer por via fotográfica, quer por registo manual. Ao contrário do que acontece no método fotográfico, no qual os pontos registados não possuem uma distância uniforme entre si (na direção transversal do pavimento), no método manual o levantamento é feito de 30 em 30 cm. Em qualquer dos métodos, as medições são efetuadas em intervalos longitudinais típicos de 15,25 m.

Apesar de existirem vários índices para a quantificação da deformação do perfil transversal, a caracterização das rodeiras no programa do LTPP, não está desenvolvida para o fazer em toda a sua plenitude. Para o levantamento do cavado de rodeira são utilizados dois métodos de cálculo: método da régua de 1,83 m e o método da linha de referência.

Pelo método da régua de 1,83 m, a medição é efetuada através da colocação da régua sobre a superfície de cada metade da via, transversalmente a esta, medindo-se a distância máxima entre o limite inferior da régua e a superfície do pavimento, tal como esquematizado na Figura 3.17. Através desta medição é possível quantificar três índices de deformação do perfil por cada meia faixa de rodagem: cavado de rodeira (profundidade máxima), distância entre a berma associada à via avaliada e o ponto de profundidade máxima e a largura da depressão.

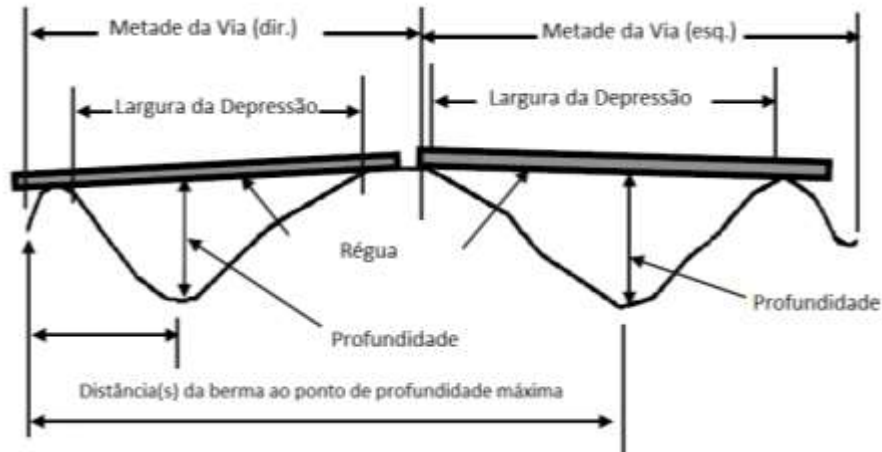


Figura 3.17 - Medição de índices de deformação transversal pelo método da régua de 1,83m (FHWA, 2009)

O método da linha de referência é baseado na ancoragem de uma linha imaginária a cada extremidade do pavimento de uma via, tal como ilustrado na Figura 3.18. Esta referência estabelece, através de linhas retas, o pico de elevação acima da superfície, quantificando os mesmos índices que o método da régua.

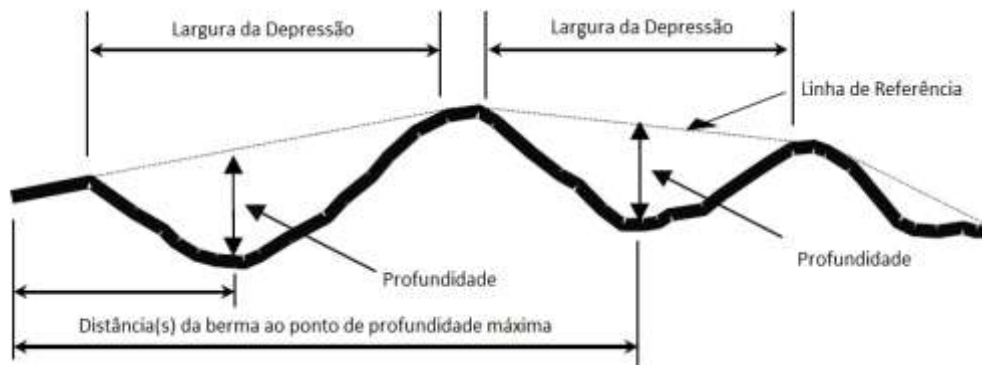


Figura 3.18 - Medição de índices de deformação transversal pelo método da linha de referência (FHWA, 2009)

- ✓ Encontram-se disponíveis na tabela MON_T_PROF_INDEX_SECTION, no campo MAX_MEAN_DEPH_1_8, os dados referentes ao valor médio máximo (à esquerda e à direita da mesma via) da profundidade do cavado de rodeira (em mm). Os valores utilizados nesta dissertação foram os medidos pelo método da régua de 1,83 m, estando parte da tabela apresentada na Figura 3.19.

MON_T_PROF_INDEX_SECTION									
STATE_CODE	SHRP_ID	SURVEY_DATE	CONSTRUCT	RECORD_ST	T_PROF_DEP	MAX_MEAN_DEPTH_1_8	NO_PROFIL	NEGATIVE_I	NEGATIVE_J
8 0213		03-03-1996	1 E	P		4	11	-6606	429
8 0213		17-06-2004	1 E	D		4	11	-9305	345
8 0214		03-03-1996	1 D	P		4	11	-5356	382
8 0214		17-06-2004	1 E	D		2	11	-6892	125

Figura 3.19- Excerto da tabela MON_T_PROF_INDEX_SECTION, Volume 1 (FHWA, 2010)

3.8 Síntese

O comportamento do pavimento é influenciado a longo prazo pelas características do dimensionamento, condições meteorológicas, tráfego, materiais constituintes da secção, qualidade da construção e pelas práticas de manutenção. Uma vez que estes fatores participam de forma ativa no desempenho do pavimento em termos de qualidade, conforto e segurança, o programa americano do LTPP desenvolveu uma base de dados, acessível ao público, com os dados relativos aos pavimentos sob monitorização.

De forma a criar homogeneidade entre as diferentes secções ao abrigo do programa, estas foram construídas segundo as suas especificações, encontrando-se expostas às normais condições de tráfego e clima.

A monitorização das secções e a entrega da informação ao programa é da responsabilidade das administrações rodoviárias responsáveis pelas secções, podendo ou não, ser da sua competência o tratamento dos dados.

Explicitaram-se, na medida do possível, os métodos de obtenção dos dados utilizados nas análises que se apresentam mais à frente, as suas unidades e o local de armazenamento dentro da estrutura do programa do LTPP.

O manual de inspeção visual de vias utilizado no LTPP foi apresentado sumariamente, tendo-se explicitado o modo como se faz o levantamento das patologias, designadamente os diferentes tipos de fendilhamento e da desagregação superficial, a irregularidade longitudinal e os cavados de rodeira para as secções sob monitorização.

4 SELEÇÃO DE DADOS NA BASE DE DADOS DO LTPP AMERICANO

4.1 Considerações Iniciais

Tal como o referido nos capítulos anteriores, o programa do LTPP foi estabelecido para o estudo do comportamento do pavimento sob a influência das ações do tráfego e do clima, e tendo conta os materiais constituintes, a qualidade da construção e das práticas de manutenção.

O aperfeiçoamento das metodologias e estratégias de reabilitação dos pavimentos flexíveis constitui um dos objetivos do programa. O tipo de fundação, a espessura e os materiais constituintes das camadas, o ambiente rodoviário e climático onde se localizam os pavimentos e as suas características iniciais, afetam de forma decisiva o seu comportamento. Todos estes fatores foram associados dentro de um único estudo, o *Specific Pavement Studies 5* (SPS-5), intitulado *Reabilitação de Pavimentos Betuminosos*. No Quadro 4.1 encontram-se os 18 projetos SPS-5 pertencentes ao programa LTPP.

Os ensaios SPS-5 têm por objetivo a avaliação do comportamento das diferentes estruturas de pavimento reabilitadas, através da evolução das suas patologias mais comuns. Tratando-se de pavimentos flexíveis em serviço, as camadas superiores são constituídas por misturas betuminosas a quente, sujeitas a diferentes tipos de intervenções. Antes das atividades de reabilitação, procedeu-se ao registo das condições iniciais no que se refere aos materiais constituintes, ao perfil (longitudinal e transversal) e às patologias.

As diferentes metodologias de reabilitação permitem comparar a preparação da superfície de trabalho, a espessura da camada e o tipo de mistura betuminosa aplicada como revestimento. A combinação destes fatores resultou no estudo de oito secções de teste, as quais se descrevem com maior pormenor mais adiante.

O fendilhamento (longitudinal, transversal, em malha e por fadiga), a desagregação superficial, o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e as rodeiras, constituem os sete parâmetros dos pavimentos quantificados para a caracterização das patologias.

Quadro 4.1– Ensaios SPS-5 do LTPP Americano (West et al, 2010)

Código Numérico	Nome	Código Alfabético
1	Alabama	AL
4	Arizona	AZ
6	Califórnia	CA
8	Colorado	CO
12	Flórida	FL
13	Geórgia	GA
23	Maine	ME
24	Maryland	MD
27	Minnesota	MN
28	Mississippi	MS
29	Missouri	MO
30	Montana	MT
34	New Jersey	NJ
35	Novo México	NM
40	Oklahoma	OK
48	Texas	TX
81	Alberta	AB, Can
83	Manitoba	MB, Can

Pretendendo-se utilizar dados do LTPP americano para a análise de situações que possam representar razoavelmente as condições portuguesas, selecionaram-se no âmbito desta dissertação os estudos relativos aos ensaios SPS-5, uma vez que a rede rodoviária portuguesa é constituída fundamentalmente por pavimentos flexíveis, os quais vão necessitar cada vez mais de ações de conservação e reabilitação. Além dos aspetos relacionados com a constituição dos pavimentos, procurou-se, na medida do possível, escolher localizações de secções com características climáticas que pudessem assemelhar-se às diferentes zonas do território continental de Portugal. A escolha recaiu sobre os estados da Califórnia, do Mississippi e do Texas. Mais adiante mostram-se os indicadores que fundamentam as escolhas realizadas.

Através de análises estatísticas e da *Standard Data Release 24* (SDR-24), base de dados utilizada no estudo, compararam-se os comportamentos das diferentes secções de teste.

4.2 Dados Climáticos

4.2.1 Generalidades

O desempenho dos pavimentos flexíveis está fortemente dependente das ações do clima. Parâmetros como a temperatura do ar, a radiação solar, a velocidade do vento e a variação do teor em água dos materiais por ação da precipitação, entre outros, influenciam consideravelmente o desempenho dos pavimentos em serviço.

Dentre os agentes enumerados acima, destacam-se a temperatura do ar e a precipitação como os fatores que exercem maior influência no comportamento do pavimento. Enquanto que o primeiro, ao influenciar o módulo de rigidez das camadas betuminosas, condiciona toda a estrutura do pavimento, o segundo intervém na capacidade de carga da fundação e das camadas não ligadas.

Como forma de tentar uma correspondência entre as regiões climáticas representativas de Portugal Continental com os estados americanos onde existem projetos SPS-5, efetuaram-se estudos comparativos entre as regiões climáticas portuguesas e as americanas consideradas, comparando os seguintes parâmetros:

- a) Precipitação e temperatura: comparando os valores médios da precipitação anual e das temperaturas mínima e máxima mensal do ar, entre 2003 e 2006;
- b) Modelação da temperatura do ar: cálculo da temperatura horária, de um dia representativo de cada mês, de abril a outubro, segundo o método proposto por Picado-Santos (Picado-Santos, 1988).

4.2.2 Estudo da precipitação média anual e da temperatura média mensal do ar

De acordo com os estudos de Picado-Santos (Picado-Santos, 1995) para efeitos da análise de dano nos pavimentos, basta considerar os meses relativos ao período do ano com temperaturas mais elevadas, designados por “meses de verão”. De facto, a temperatura do ar é, em geral, elevada naqueles meses sendo responsável pela ocorrência de maior dano nos pavimentos flexíveis. A isotérmica da temperatura máxima do ar verificada durante aqueles meses, serve assim de referência à delimitação das quatro zonas climáticas assinaladas na Figura 4.1 (Baptista, 1999).

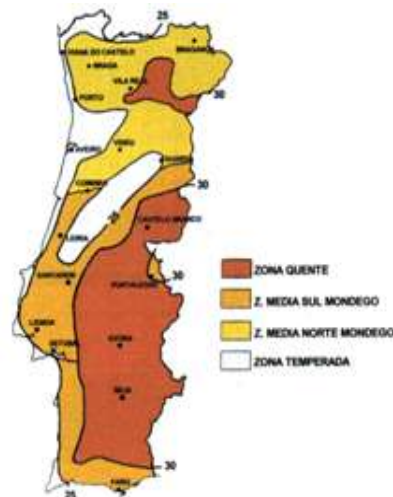


Figura 4.1 – Zonas Climáticas Portuguesas que apresentam dano equivalente em pavimentos flexíveis, quando este é dependente apenas da temperatura do ar (Baptista, 1999)

Na análise realizada nesta dissertação, cada uma das zonas climáticas está representada pelos dados de uma cidade localizada dentro dessa zona, considerada representativa da mesma, tal como indica o Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Cidades que se consideraram representativas das zonas climáticas de Portugal Continental

Zona Climática	Cidade
Quente	Beja
Média Sul Mondego	Lisboa
Média Norte Mondego	Braga
Temperada	Porto

Representa-se na Figura 4.2, a sombreado cinzento, a localização geográfica dos projetos SPS-5 existentes nos EUA e Canadá que foram avaliados para escolher os mais próximos das condições climáticas portuguesas.



Figura 4.2 – Distribuição geográfica dos programas SPS-5 nos EUA (adaptado de FHWA, 2006 a)

Numa primeira análise, compararam-se as temperaturas mínimas e máximas mensais, e as precipitações médias anuais, registadas no período de 2003 a 2006, para as cidades Portuguesas e para os estados norte-americanos considerados (Quadro I.1 e Figura I.1 do Apêndice I). Tendo por base aqueles indicadores climáticos, apesar das diferenças observadas, verificou-se que os estados da Califórnia, do Arizona, do Novo México, do Texas e do Mississippi eram os que tinham maior potencial para caracterizar algumas das cidades portuguesas consideradas. No entanto, após uma pesquisa na SDR-24, constatou-se que para alguns daqueles estados era manifesta a insuficiência de dados face aos objetivos pretendidos. Além disso, as características climáticas afastavam-se consideravelmente das regiões climáticas portuguesas consideradas.

No Quadro I.1 do Apêndice I apresentam-se os valores da temperatura máxima e mínima mensal do ar e da precipitação média anual referentes ao período de 2003 a 2006 (meses de abril a outubro) para as cidades de Braga, Porto, Lisboa e Beja (IPMA, 2013), e para os estados da Califórnia, Arizona, Novo México, Texas e Mississippi (no Quadro I.2 do Apêndice I, encontram-se as estações meteorológicas utilizadas).

No que se refere à precipitação, verifica-se que as estações meteorológicas associadas às secções monitorizadas no LTPP, nos casos do Novo México e da Califórnia, apresentam valores bastante inferiores aos registados para o contexto português. No entanto, tendo em consideração os fatores constantes no Quadro I.1, e

apesar do Novo México manifestar maiores semelhanças com as temperaturas portuguesas, optou-se pelo estado da Califórnia uma vez que existe registos de dados no LTPP para um período maior. No contexto geral, verificou-se que o Arizona é o Estado com características climáticas mais díspares das portuguesas, pelo que aquele e o Novo México não foram objeto das análises efetuadas, relativamente aos registos do LTPP. Dos Estados americanos analisados, apenas a Califórnia, o Texas e o Mississippi foram alvo das análises que se apresentam mais adiante neste estudo.

4.2.3 Estudo de temperatura proposto por Picado-Santos (Picado-Santos, 1988):

Este modelo consiste na simulação da temperatura do ar [expressão (4.1)] de um dia característico de cada um dos meses mais suscetíveis de causar danos nos pavimentos flexíveis (abril a outubro):

$$TA = TAmáx - \alpha_1 \times \Delta TA \quad (4.1)$$

Onde,

TA — Temperatura do ar a uma certa hora do tempo universal coordenado, em °C;

$TAmáx$ — Temperatura máxima do ar, em °C;

ΔTA — Amplitude térmica diária ($TAmáx - Tamin$), em °C;

Quadro 4.3 - Coeficientes α_1 de acordo com a hora universal

α_1 (por hora do tempo universal coordenado)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,93	0,98	1	0,98	0,93	0,85	0,75	0,63	0,50	0,37	0,25	0,15
α_1 (por hora do tempo universal coordenado)											
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,07	0,02	0,00	0,02	0,07	0,15	0,25	0,37	0,50	0,63	0,75	0,85

Determinaram-se distribuições horárias das temperaturas do ar, modeladas pela expressão (4.1), para os Estados americanos e para as cidades representativas das regiões climáticas portuguesas, tentando encontrar-se uma correspondência aceitável entre as localizações de ambos os grupos. Nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5, representam-se os valores médios agregados dos resultados daquelas modelações para os meses de abril a outubro, entre 2003 e 2006, para os pares estado/cidade considerados mais próximos. No Apêndice II encontram-se os valores de cada uma das localizações, obtidos a partir das modelações horárias, para cada um dos meses considerados.

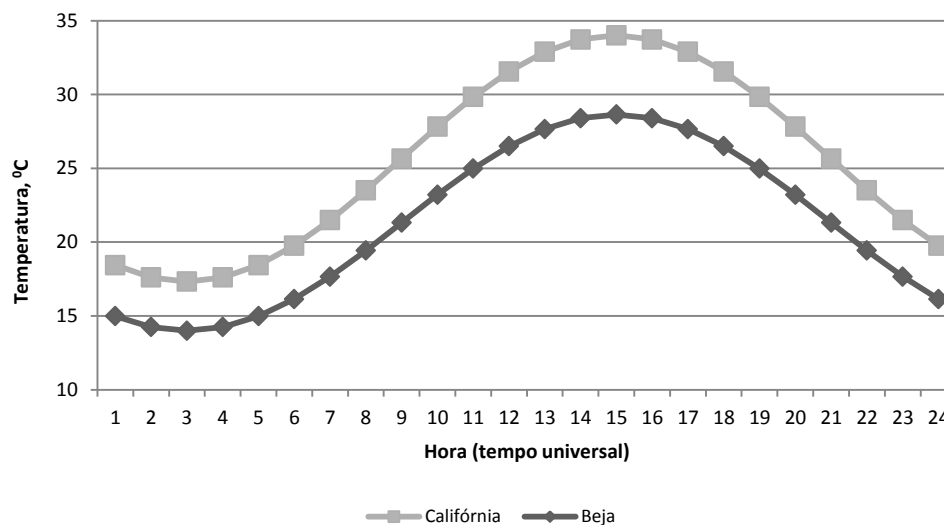
Caso A: Califórnia e Beja

Figura 4.3 – Média da temperatura do ar (°C) de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, na Califórnia e em Beja

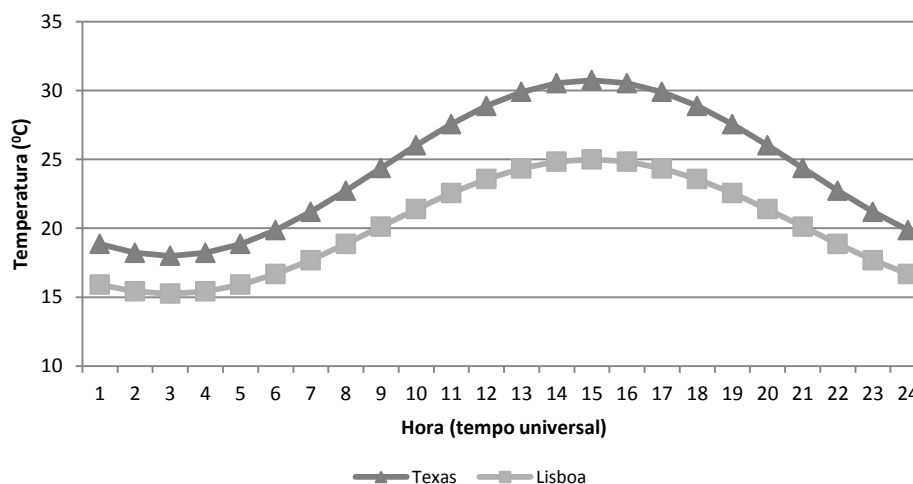
Caso B: Texas e Lisboa

Figura 4.4 - Média da temperatura do ar (°C) de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, no Texas e em Lisboa

Para o par Califórnia/Beja a diferença média entre os valores horários da temperatura do ar é de aproximadamente 4,34°C, com diferenças mínima e máxima de 3,32 e 5,37°C, respetivamente. No caso do par Texas/Lisboa o valor médio daquelas diferenças é de 4,25°C, sendo os valores mínimo e máximo de 2,75 e 5,75°C, respetivamente. Por último, no par Mississippi/Porto a diferença média é de 4,25°C, sendo no mínimo de 2,65°C e no máximo de 5,85°C.

Como se verifica, a correspondência entre os valores médios da modelação das temperaturas horárias não é exata. No entanto, pode considerar-se suficiente para uma comparação entre os comportamentos dos pavimentos observados nos estados, onde existem secções SPS-5, e as regiões climáticas portuguesas consideradas. Note-se que em Portugal não se dispõe de um programa semelhante ao LTPP americano, pelo que, embora aproximadas as inferências que possam ser feitas para o território nacional, as mesmas terão uma utilidade acrescida.

Caso C: Mississippi e Porto

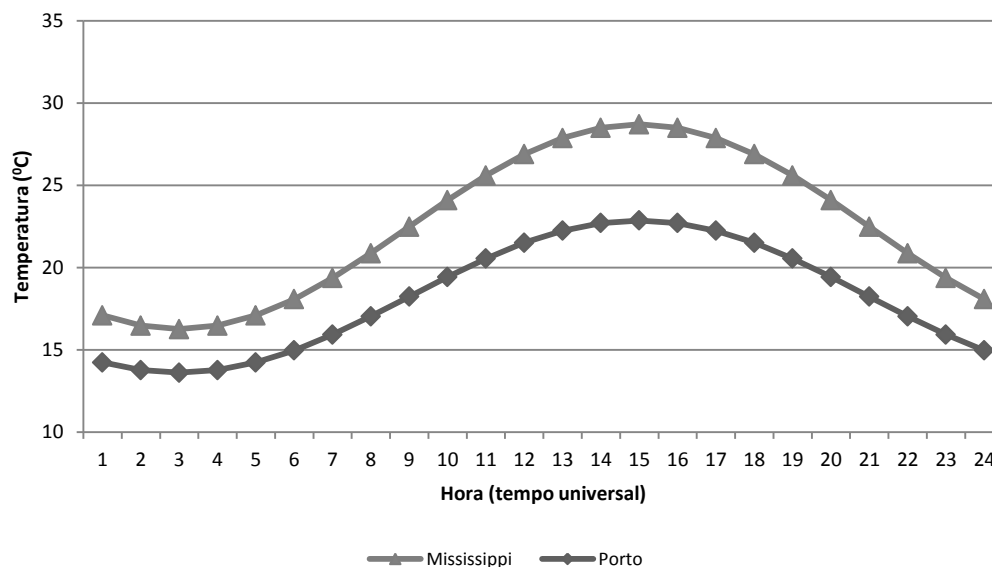


Figura 4.5 - Média da temperatura do ar (°C) de um dia característico de verão nos meses de abril a outubro, de 2003 a 2006, no Mississippi e no Porto

As semelhanças climáticas entre as cidades do Porto e de Braga, aliadas a uma modelação um pouco mais satisfatória entre o Porto e o estado do Mississippi, em comparação com a obtida para este estado e para a cidade de Braga, levaram a que se considerasse apenas a cidade do Porto.

Tendo em consideração todos os resultados obtidos, escolheram-se os seguintes pares estado/cidade:

- Caso A: Califórnia e Beja;
- Caso B: Texas e Lisboa.
- Caso C: Mississippi e Porto.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que as secções de teste do LTPP consideradas neste estudo se situam em regiões tendencialmente mais secas (com exceção do Mississippi) e quentes que as regiões portuguesas para as quais se tentou obter uma correspondência. Este aspecto, influencia de modo particular o comportamento à

deformação permanente das camadas betuminosas, o qual tenderá a ser pior nos estados selecionados para este estudo. Contudo, a ocorrência de menor precipitação, em geral, pode induzir uma melhor capacidade de suporte das camadas inferiores dos pavimentos, mais sensíveis às variações do teor em água dos materiais. No Mississippi, em particular, a precipitação é consideravelmente superior à da cidade do Porto, o que tende a influenciar negativamente a capacidade de suporte das camadas não ligadas dos pavimentos.

4.3 Tráfego

Tal como se descreveu, o carregamento devido ao tráfego refere-se a eixos-padrão de 80 kN, traduzido pelo número de eixos (ESALs) na via monitorizada pelo próprio LTPP.

No Apêndice III encontram-se os valores extraídos da base de dados para o número acumulado de ESALs que servirá de referência aos estados efetuados neste estudo.

Na tabela TRF_MON_EST_ESAL da SDR-24, cujo excerto se apresentou na Figura 3.4, constata-se que os dados disponíveis se referem a diferentes períodos. Assim, enquanto para o Estado da Califórnia existe informação de 1993 a 1997, para o Texas essa informação existe entre 1990 e 2007, e para o Mississippi entre 1990 a 1999.

Apesar dos registos serem relativos a períodos não totalmente coincidentes, verifica-se que as secções que contêm os maiores e menores volumes são, respetivamente, as dos estados do Mississippi e do Texas.

4.4 Estruturas das secções dos pavimentos

Os projetos SPS-5 são constituídos por oito secções de ensaio e uma secção de controlo. Todas as secções apresentam, como se referiu, um comprimento uniforme de 152 m, são constituídas por uma fundação de solo granular fino e estão sujeitas a um tráfego mínimo de 85000 eixos-padrão por ano.

As camadas superficiais apresentam espessuras de 50 ou 125 mm, sendo constituídas por misturas betuminosas de materiais novos ou incorporando cerca de 30% de material reciclado. Em metade dos casos as ações de reabilitação foram precedidas por trabalhos preparatórios, os quais incluíram 50 mm de fresagem. Nos restantes, a reabilitação foi executada diretamente sobre o pavimento existente. Nas Figuras 4.6 e 4.7 apresentam-se as configurações das estruturas de pavimentos das secções antes e depois da reabilitação para cada um dos grupos referidos.

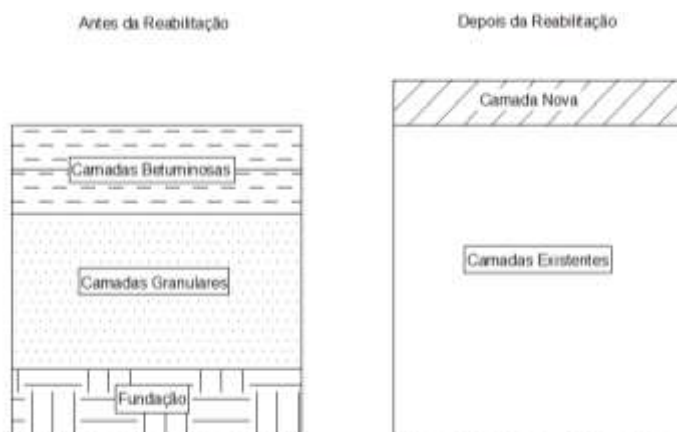


Figura 4.6 – Estrutura genérica das secções SPS-5, antes e depois da reabilitação, não sujeitas a trabalhos preparatórios de fresagem

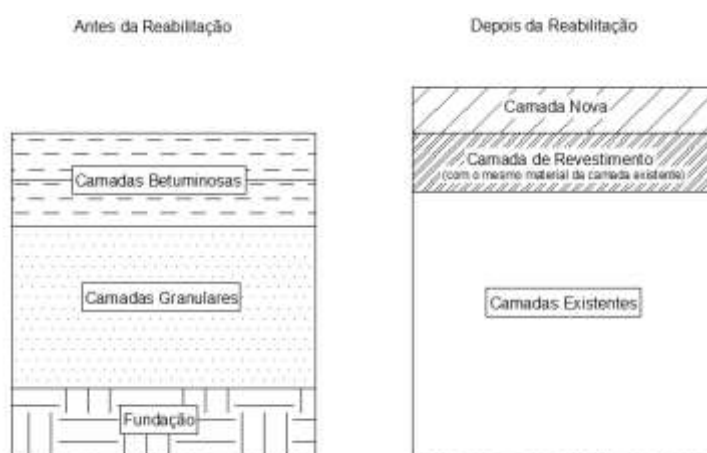


Figura 4.7 – Estrutura genérica das secções SPS-5, antes e depois da reabilitação, sujeitas a trabalhos preparatórios de fresagem

Em todos os projetos SPS-5 as secções encontram-se numeradas de 501 a 509, seguindo as características indicadas no Quadro 4.4. A secção de controlo é normalmente codificada com o número 501, não sofrendo qualquer tipo de tratamento.

Quadro 4.4 – Características normalizadas das secções pertencentes aos ensaios SPS-5 (West, 2009)

Preparação da Superfície	50mm de Fresagem		Sem Fresagem	
Espessura do Revestimento (mm)	50	125	50	125
Tipo de Mistura	Código da Secção SPS-5			
Reciclada	509	508	502	503
Nova	506	507	505	504

Contudo, pela análise da tabela SECTION_LAYER_STRUCTURE, cujo excerto se encontra na Figura 3.7, verificou-se que a codificação das secções da Califórnia não seguia os mesmos princípios dos restantes estados. Para tornar mais fácil a análise, recodificaram-se estas secções para o formato padrão dos projetos SPS-5, tal como é indicado no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Correspondência entre as secções constantes na SDR-24 com o formato padrão do projeto SPS-5

Secções originais da Califórnia	Correspondência com o formato padrão utilizado no estudo
501	501
502	509
503	508
504	507
505	506
506	505
507	504
508	503
509	502

4.5 Dados de Patologias

Nas secções seguintes resumem-se os dados constantes no programa LTPP, relativos à evolução das patologias quantificadas no âmbito dos projetos SPS-5 (fendilhamento, desagregação superficial, índice de irregularidade internacional e rodeias), nos estados da Califórnia, Texas e Mississippi. Os valores mínimos, médios e máximos, que se apresentam nos parágrafos seguintes, a menos que indicado de modo diferente, referem-se aos registos do último ano do período considerado na análise.

As ações de reabilitação efetuadas nas secções ocorreram em 1992 e 2001/2002 no estado da Califórnia, em 1993 no estado do Texas, e em 1990 no Mississippi.

4.5.1 Fendilhamento

a) Fendilhamento Longitudinal

Os valores mínimos e máximos de comprimento de fendas longitudinais nas secções do estado da Califórnia foram registados nas secções 506 e 508, com os valores de 44,7 e 283,7 m/secção, respetivamente. A média do comprimento desta patologia é de aproximadamente 227,8 m/secção, estando o seu desenvolvimento traduzido graficamente na Figura 4.8. Verifica-se uma diminuição acentuada em algumas secções nos períodos correspondentes a ações de reabilitação.

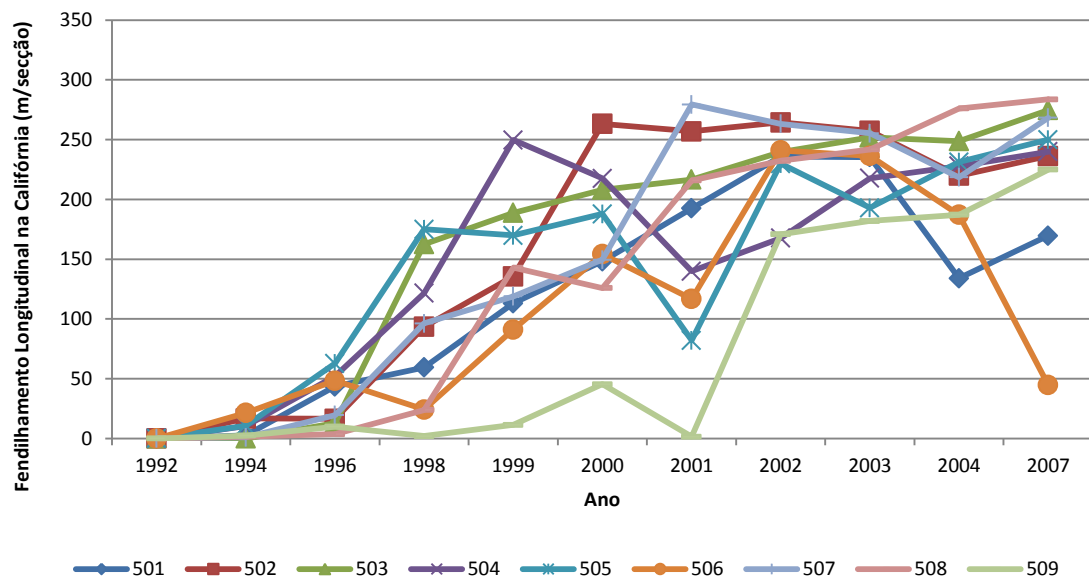


Figura 4.8 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal na Califórnia de 1992 a 2007

Na Figura 4.9 ilustra-se o desenvolvimento do fendilhamento longitudinal nas secções do estado do Texas. Os comprimentos mínimos e máximos ocorreram nas secções 507 e 502, apresentando valores de 18,5 e 243,9 m/secção, respetivamente. O comprimento médio encontra-se próximo de 233,23 m/secção. Pensa-se que possa ter existido um erro de leitura na secção 504 em 2002.

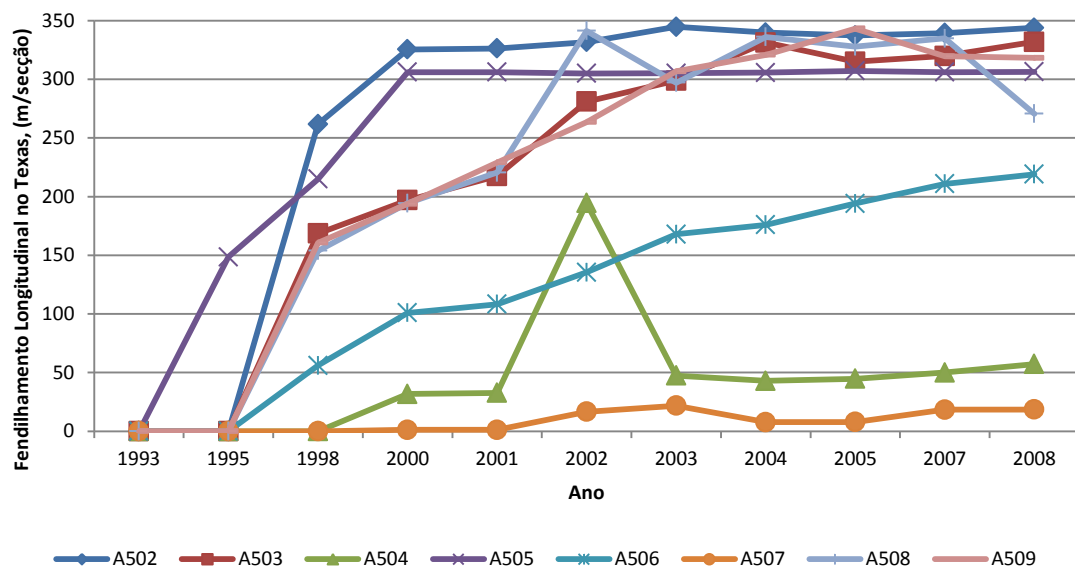


Figura 4.9 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal no Texas de 1993 a 2008

O fendilhamento longitudinal nas secções do Mississippi (Figura 4.10) apresenta um comprimento médio de aproximadamente 57,91 m/secção. O mínimo e o máximo ocorreram nas secções 506 e 509 assumindo os valores de 23,8 e de 107,8 m/secção, respetivamente. A forte diminuição observada entre 1993 e 1997 na secção 502, pode ser explicada pelo desenvolvimento de fendas em malha e/ou pele de crocodilo, as quais passam a ser registadas como fendilhamento em bloco (ou malha) ou fadiga (ou pele de crocodilo), tal como se evidencia, mais adiante, na Figura 4.16, a propósito daquela secção. O mesmo se passa na secção 509, para a qual se verificou um forte crescimento do fendilhamento por fadiga (ou pele de crocodilo) no mesmo período.

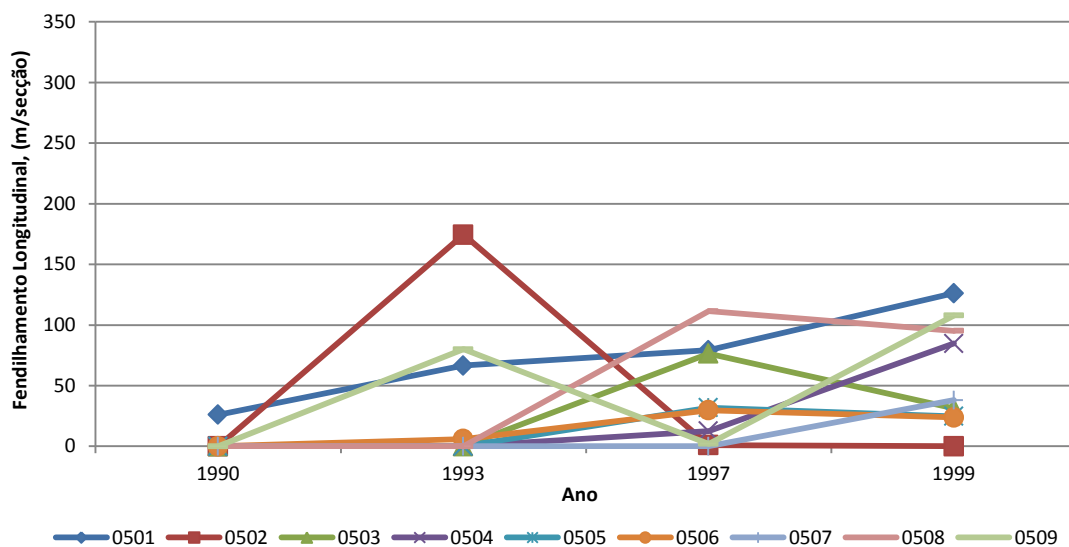


Figura 4.10 – Desenvolvimento do fendilhamento longitudinal no Mississippi de 1990 a 1999

Na tabela MON_DIS_AC_REV, cujo excerto se mostrou na Figura 3.15, existem campos referentes ao comprimento de fendas seladas na zona de passagem dos rodados e fora desta. Para que o comprimento de fendas não fosse duplamente quantificado, os valores referentes às fendas seladas não constam desta análise, uma vez que a sua contabilização foi efetuada no período anterior à selagem.

b) Fendilhamento Transversal

Na Figura 4.11 ilustra-se o desenvolvimento do fendilhamento transversal nas secções do estado da Califórnia. Esta patologia assume um valor médio de 136,12 m/secção, sendo o mínimo e o máximo de 72,7 e de 222,6 m/secção, para as secções 506 e 503, respetivamente. As diminuições verificadas no desenvolvimento daquela patologia no período analisado estão, uma vez mais, relacionadas com ações de reabilitação realizadas nas secções.

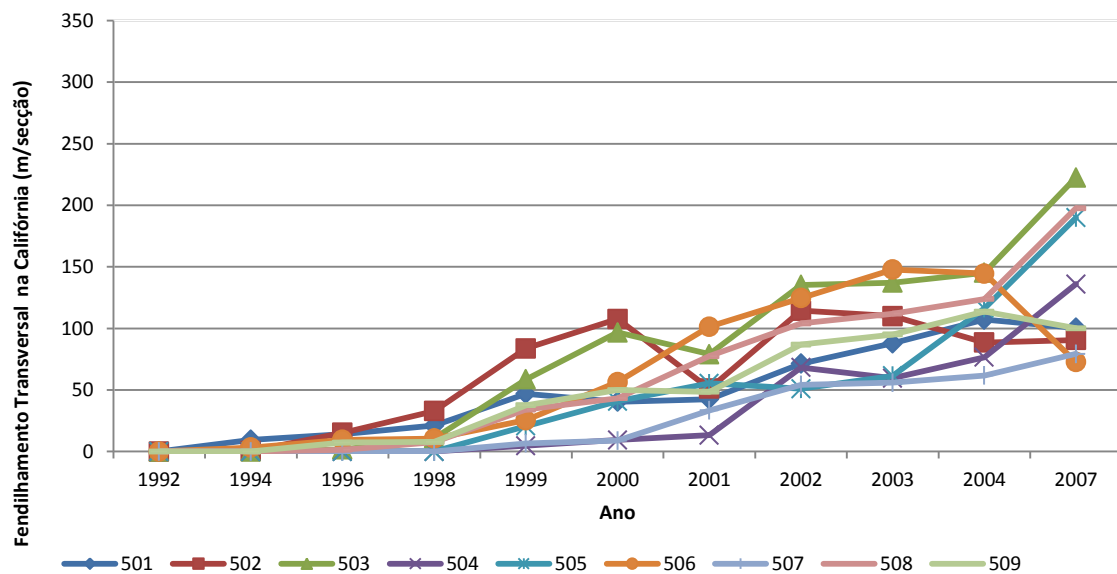


Figura 4.11– Desenvolvimento do fendilhamento transversal na Califórnia de 1992 a 2007

O comprimento médio das fendas transversais nas secções do Texas apresenta um valor aproximado de 59,14 m/secção. Nas secções 507 e 502 encontra-se o comprimento mínimo de 1,7 e o máximo de 122,6 m/secção, respetivamente. Na Figura 4.12 mostra-se o desenvolvimento da patologia nas diferentes secções daquele Estado. Não se encontrou uma explicação plausível para a variação abrupta na secção 505 em 2008.

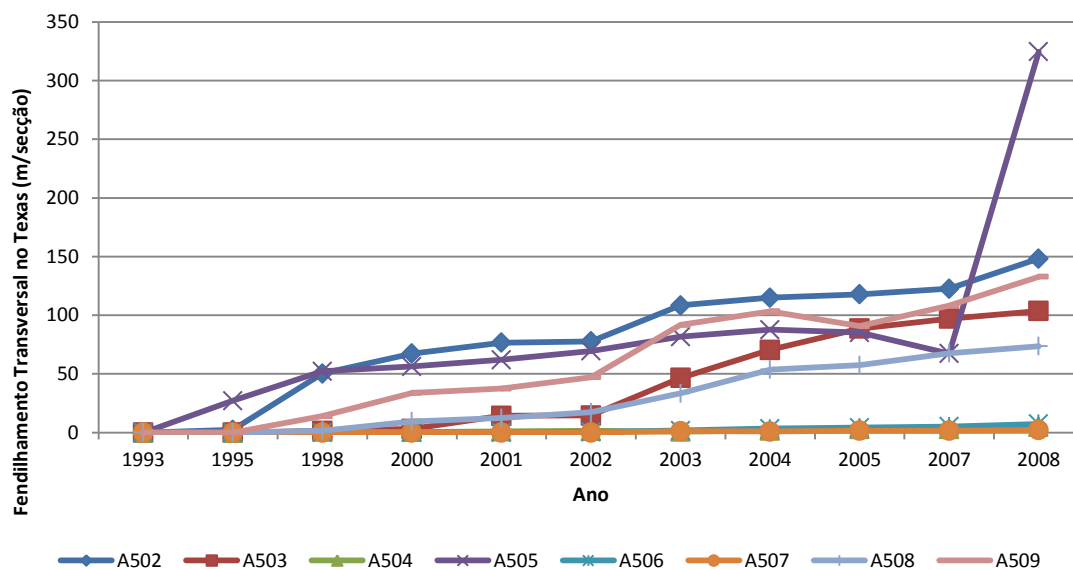


Figura 4.12 – Desenvolvimento do fendilhamento transversal no Texas de 1993 a 2008

Segundo a Figura 4.13, o comprimento mínimo e máximo das fendas transversais no estado do Mississippi é de 1,7 e de 122,9 m/secção, pertencendo às secções 507 e 502, respetivamente. O comprimento médio é de aproximadamente 55,1 m/secção.

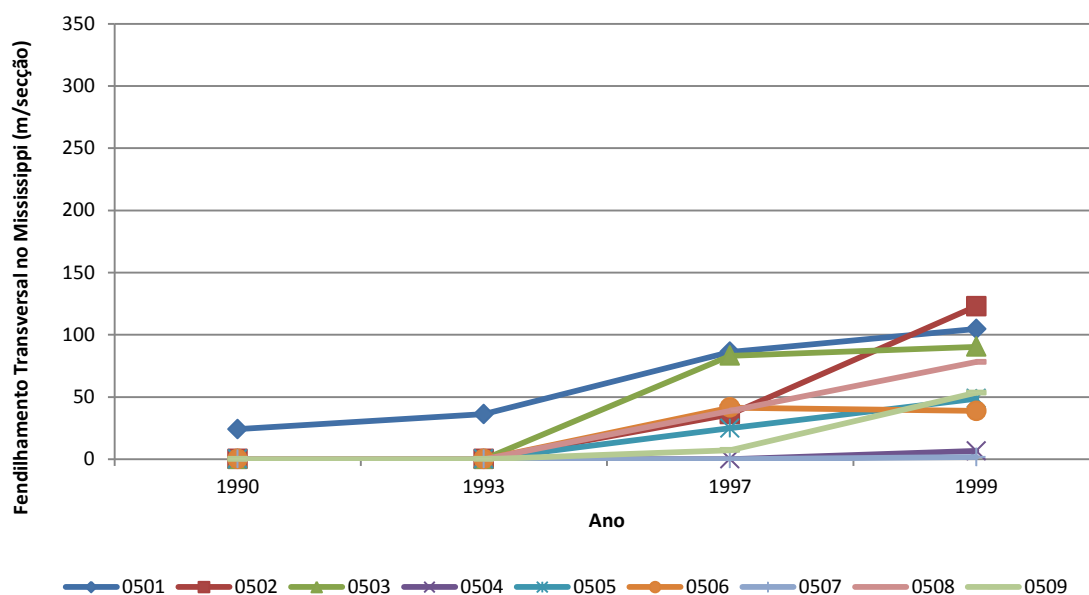


Figura 4.13 – Desenvolvimento do fendilhamento transversal no Mississippi de 1990 a 1999

c) Fendilhamento em Bloco (ou malha)

Na Figura 4.14 apresenta-se o desenvolvimento do fendilhamento em bloco ou malha no estado da Califórnia. Na base de dados apenas existem registos para a secção 502.

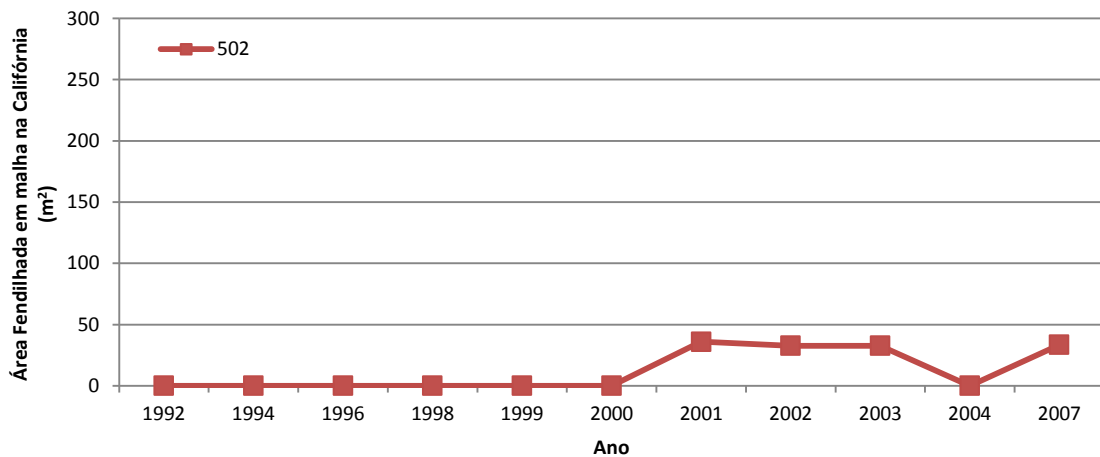


Figura 4.14 – Desenvolvimento do fendilhamento em bloco na Califórnia de 1992 a 2007

Uma vez que não existem registos de fendilhamento em malha em qualquer das secções consideradas para o Texas, presume-se que neste estado a mesma não tenha ocorrido.

O fendilhamento em bloco no Mississippi foi registado apenas nas secções 502 e 503, tal como se ilustra na Figura 4.15.

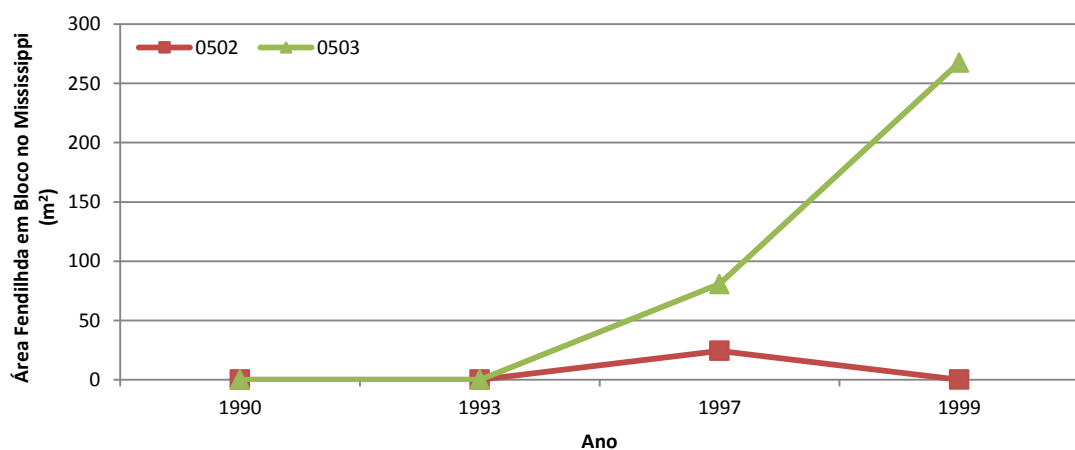


Figura 4.15 – Desenvolvimento do fendilhamento em bloco no Mississippi de 1990 a 1999

d) Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)

A Figura 4.16 representa graficamente o desenvolvimento da área de fendilhamento por fadiga registada para as secções da Califórnia, sendo visíveis diminuições das

áreas fendilhadas associadas à realização de ações de reabilitação. O mínimo e o máximo da patologia atingiram valores de 18,7 e 423,90 m²/secção nas secções 503 e 509, respetivamente. A área média encontra-se próxima de 217,45 m²/secção.

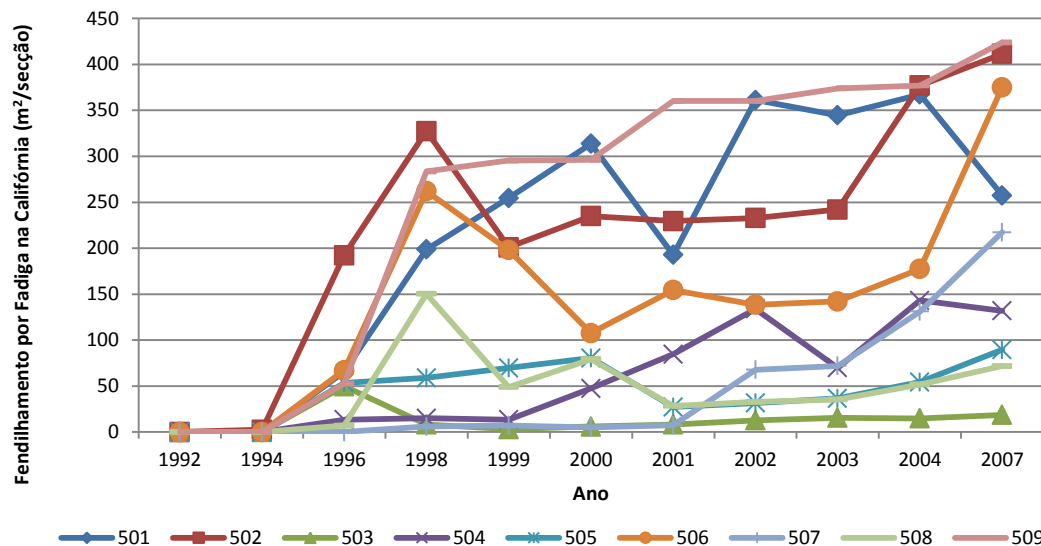


Figura 4.16 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga na Califórnia de 1992 a 2007

No Texas, a área média fendilhada por fadiga é aproximadamente 2,68 m²/secção, sendo que o mínimo e o máximo foram registados para as secções 502 e 509, com valores de 0,7 e 4,3 m²/secção, respetivamente. A Figura 4.17 demonstra os registos relativos àquela patologia, apresentando as secções 504, 505 e 506 valores nulos.

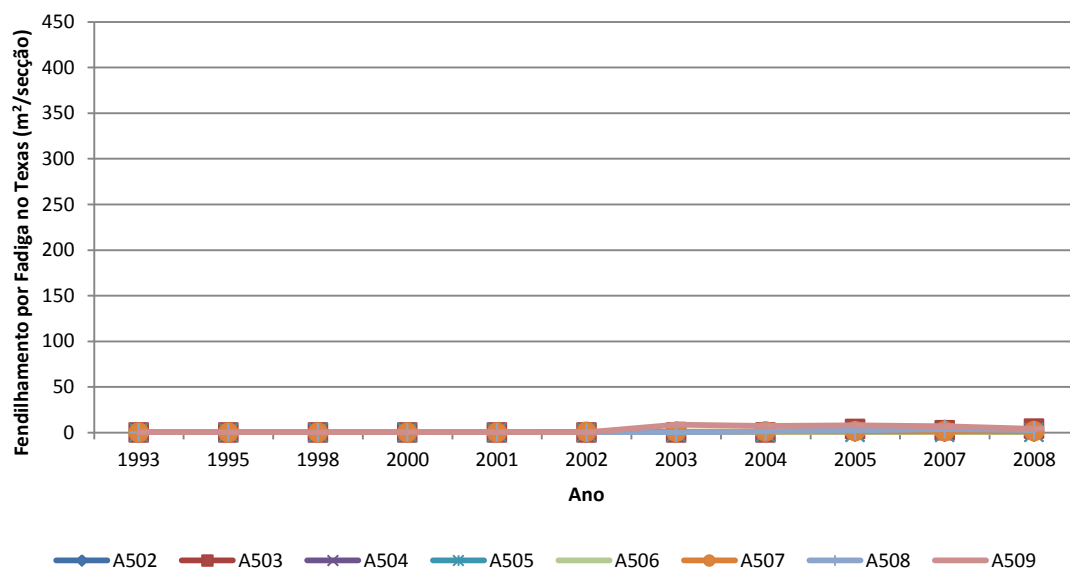


Figura 4.17 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga no Texas de 1993 a 2008

A área fendilhada por fadiga no estado do Mississippi tem um mínimo de 1,6 e um máximo de 146,6 $\text{m}^2/\text{secção}$ nas secções 504 e 509, respetivamente, apresentando a secção 507 valores nulos. O valor médio da patologia no estado é próximo de 68,66 $\text{m}^2/\text{secção}$. A Figura 4.18 caracteriza graficamente o desenvolvimento do fendilhamento por fadiga ao longo do tempo.

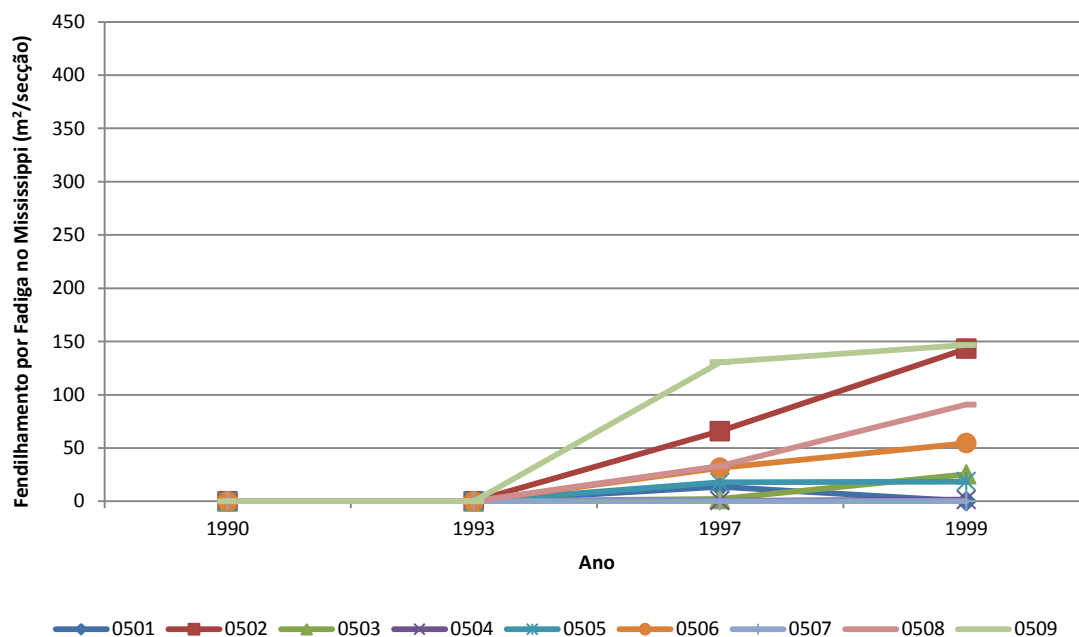


Figura 4.18 – Desenvolvimento do fendilhamento por fadiga no Mississippi de 1990 a 1999

4.5.2 Desagregação Superficial

O desenvolvimento da desagregação superficial na Califórnia está representado graficamente na Figura 4.19. Apenas se registaram valores para as secções 504, 507 e 508.

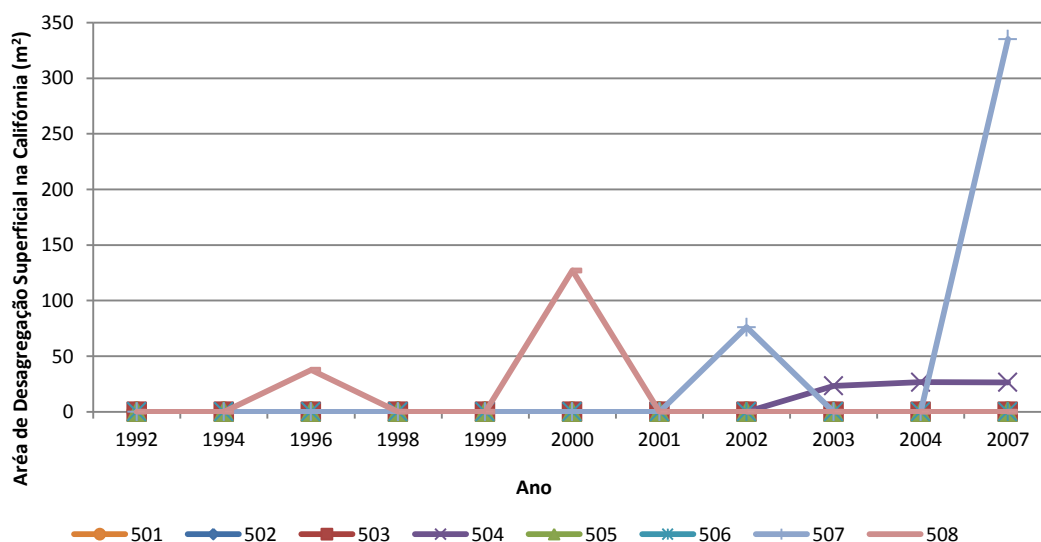


Figura 4.19 – Desenvolvimento da desagregação superficial na Califórnia de 1992 a 2007

Na Figura 4.20 ilustra-se o desenvolvimento gráfico da desagregação superficial nas secções do Texas. Apesar de não se encontrarem explicações documentadas para as

oscilações presentes no gráfico, não é de excluir a possibilidade de terem existido algumas ações de conservação, mais ou menos pontuais, que expliquem a diminuição da área afetada nas secções 505 e 506.

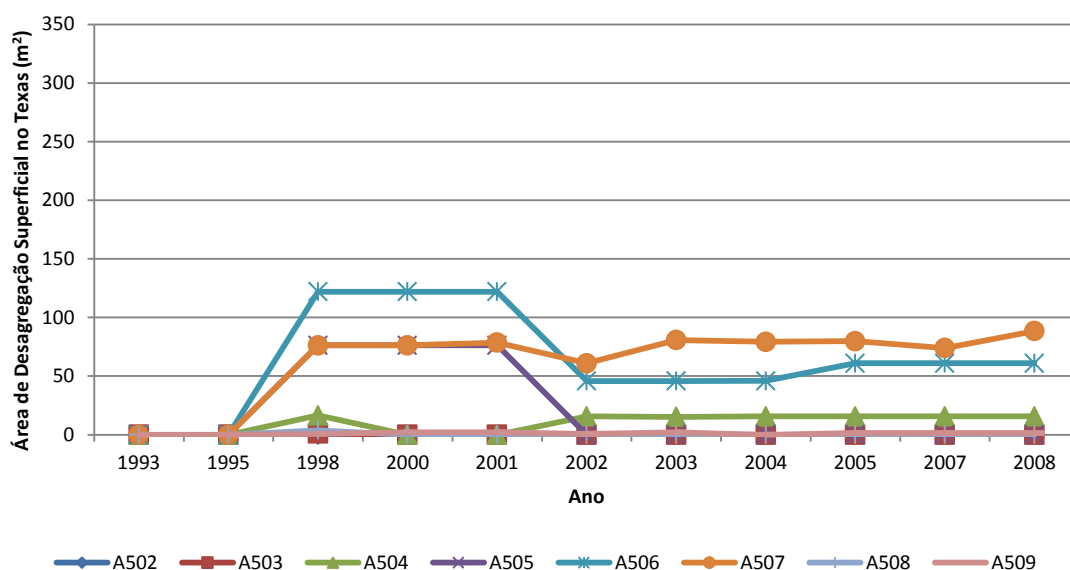


Figura 4.20 – Desenvolvimento da desagregação superficial no Texas de 1993 a 2008

Uma vez que não foram registados valores de desagregação superficial para as secções do estado do Mississippi, presume-se que este tipo de patologia não tenha ocorrido nas secções consideradas.

4.5.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

O valor médio do IRI na Califórnia é aproximadamente de 2,71 m/km, sendo o mínimo de 1,52 e o máximo de 5,26 m/km nas secções 507 e 502, respetivamente. Na Figura 4.21 encontra-se o seu desenvolvimento cronológico, verificando-se uma clara melhoria daquele parâmetro nos períodos correspondentes às reabilitações de 1991 e 2001/2002.

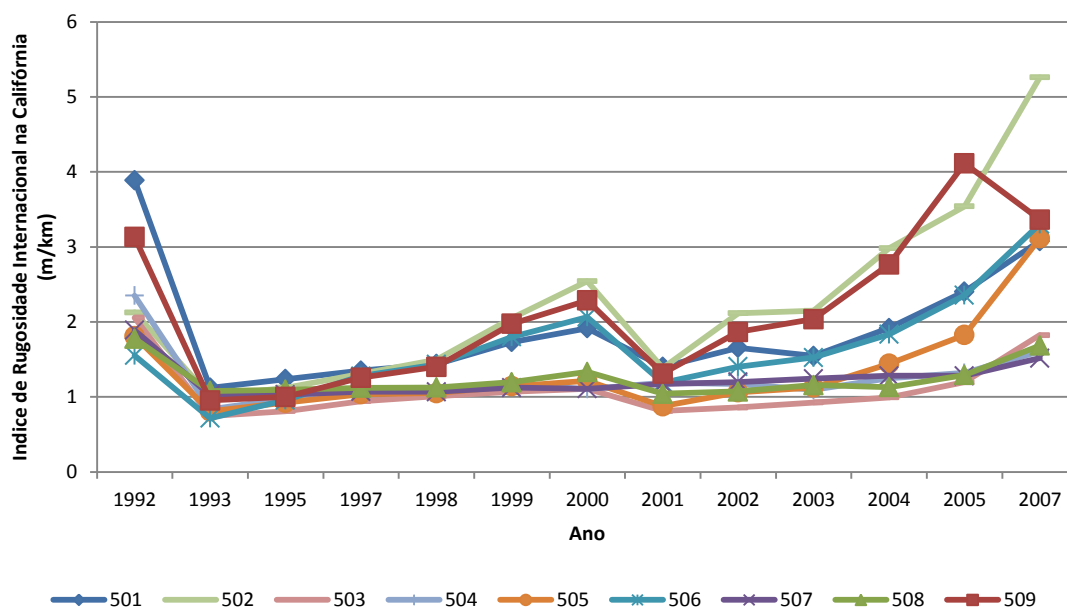


Figura 4.21 – Desenvolvimento do IRI na Califórnia de 1992 a 2007

A Figura 4.22 representa graficamente o desenvolvimento do IRI nas secções do Texas, verificando-se uma média aproximada de 1,44 m/km. Nas secções 504 e 505 observam-se os valores mínimo e máximo da irregularidade longitudinal, de 1,28 e de 1,83 m/km, respetivamente.

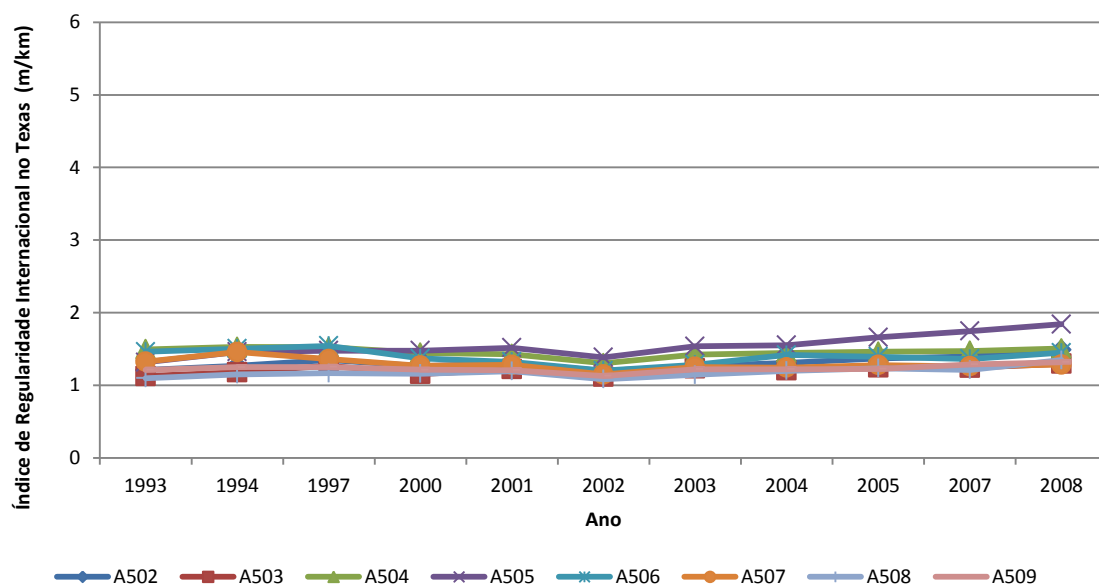


Figura 4.22 – Desenvolvimento do IRI no Texas de 1993 a 2008

O menor e o maior valor do IRI registado no Mississippi ocorreu nas secções 507 e 508, 1,31 e 1,78 km/m, respetivamente. O valor médio é de 1,62 km/m. Na Figura 4.23 ilustra-se o desenvolvimento cronológico do IRI nas secções daquele Estado.

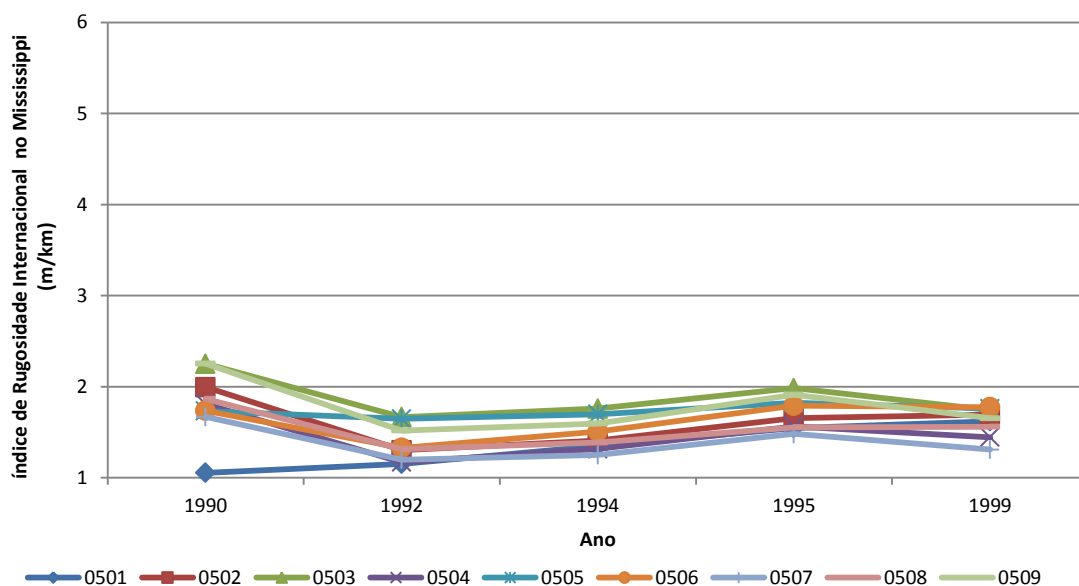


Figura 4.23 – Desenvolvimento do IRI no Mississippi de 1990 a 1999

4.5.4 Rodeiras

Na Figura 4.24 apresenta-se o desenvolvimento do cavado de rodeira nas secções da Califórnia. O mínimo e o máximo ocorreram nas secções 503 e 504, com valores de 1 e de 8 mm, respetivamente. O valor médio foi de 4,63 mm.

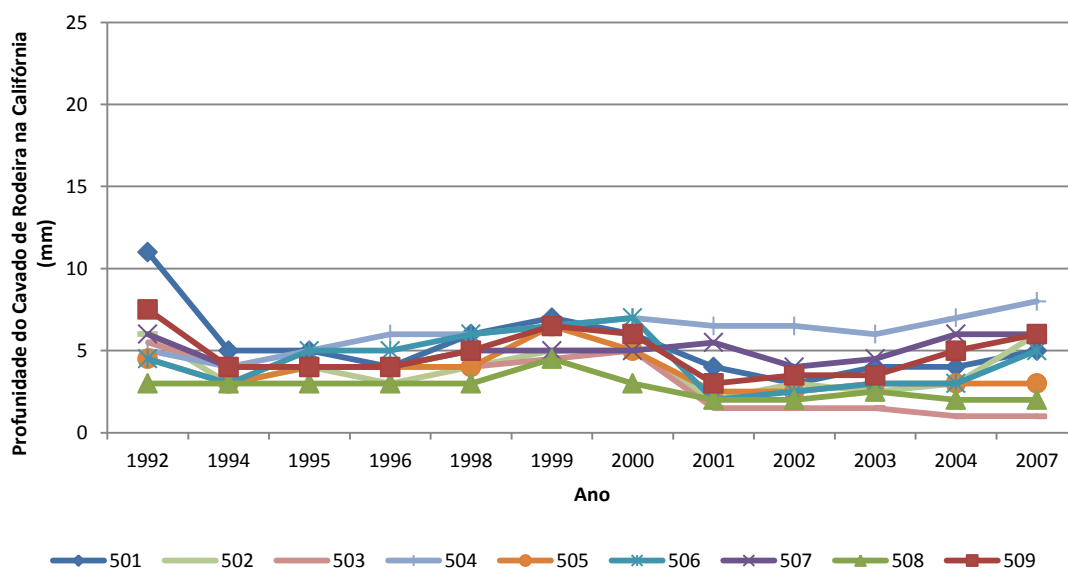


Figura 4.24 – Profundidade do cavado de rodeira na Califórnia de 1992 a 2007

O cavado de rodeira nas secções do Texas apresentou um mínimo de 5 mm na secção 503 e um máximo de 10 mm na 507. O valor médio calculado é de 7,75 mm, encontrando-se na Figura 4.25 o desenvolvimento cronológico da deformação.

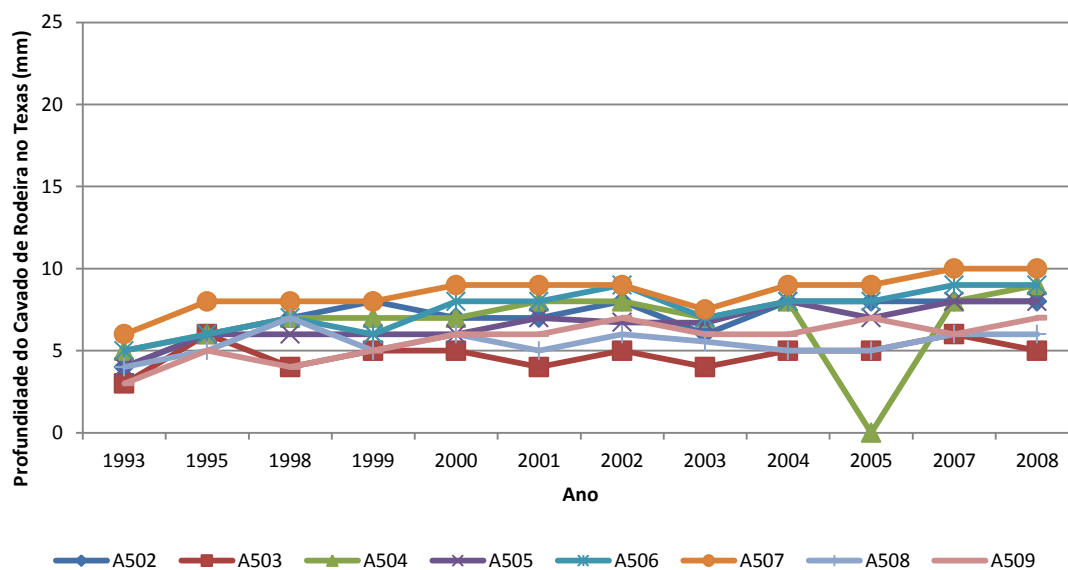


Figura 4.25 – Profundidade do cavado de rodeira no Texas de 1993 a 2008

A Figura 4.26 ilustra o desenvolvimento do cavado de rodeira nas secções do Mississippi, apresentando o valor médio de 15,75 mm. O mínimo foi observado na secção 505 com o valor de 11 mm, e o máximo verificou-se na secção 504, com 22 mm.

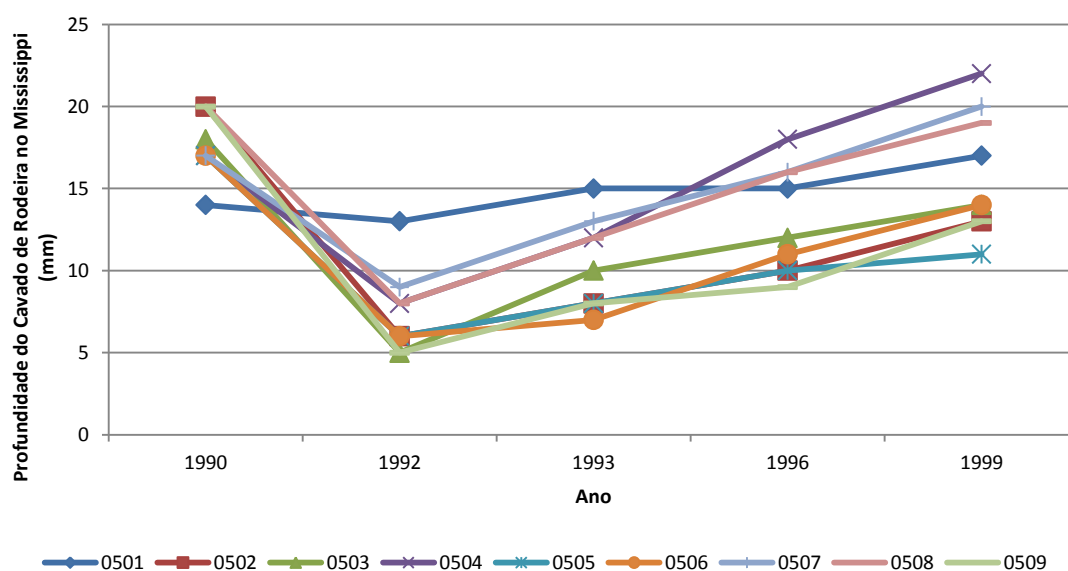


Figura 4.26 – Profundidade do cavado de rodeira no Mississippi de 1990 a 1999

4.6 Discussão Geral dos Dados Tratados

De acordo com a temperatura média anual e a localização geográfica dos projetos SPS-5 em estudo, os estados encontram-se na zona designada no LTPP por *Não Fria* (com um *FI* - *freezing index* inferior a 60°C-dia; por exemplo, cinco dias a -2°C corresponde a um *FI*=10°C-dia), sendo a Califórnia o Estado mais quente e o Mississippi o mais frio. No que se refere à média da precipitação anual, enquanto que a Califórnia se localiza na zona *Seca* (precipitação média anual inferior a 1000 mm), os restantes estados pertencem à zona *Húmida* (precipitação média anual superior a 1000 mm), apresentando o Texas os níveis mais baixos (FHWA, 2006 a).

Tal como se indicou no Quadro 4.2, de acordo com as zonas climáticas portuguesas definidas com base no dano produzido em pavimentos flexíveis quando aquele é unicamente dependente da temperatura do ar, Beja localiza-se na zona *Quente*, Lisboa na *Média Sul Mondego* e o Porto na zona *Temperada* (Baptista, 1999). Quanto à pluviosidade, Beja é a cidade/zona mais seca e o Porto a mais húmida.

Assim, a tentativa de estabelecimento de correspondência climática entre os estados americanos e as cidades portuguesas resultou em três grupos: A - Califórnia/Beja; B - Texas/Lisboa; C - Mississippi/Porto. Note-se que a localização das secções dentro dos territórios dos Estados, a uma distância considerável da costa (Figura 4.27), explica as diferenças climáticas verificadas entre as regiões das secções de teste e as regiões portuguesas para as quais se pretendia estabelecer comparações de comportamentos dos pavimentos.

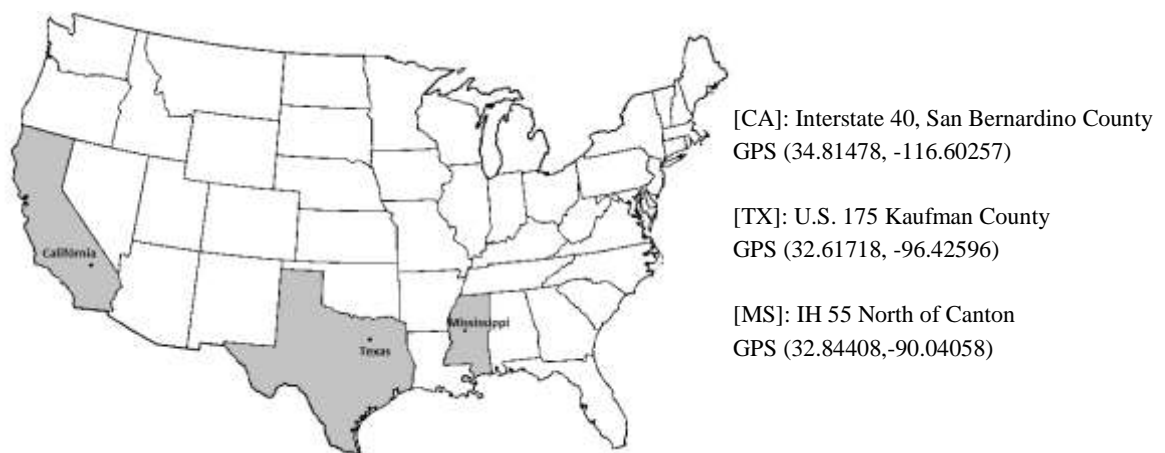


Figura 4.27 – Localização dos projetos SPS-5 nos estados em estudo

No que diz respeito ao desenvolvimento do fendilhamento longitudinal, as secções da Califórnia apresentam um desenvolvimento mais ou menos semelhante entre si, com valores elevados de fendilhamento. Já no caso do Texas, observam-se dois grupos de secções diferentes, um que diz respeito a secções para as quais os valores registados são os mais altos de todas as secções em estudo, e outro correspondente às

secções com os valores mais baixos dentre todos os casos analisados. No que se refere ao Mississippi, as secções, têm alguma variação entre si, não seguindo um padrão definido.

O fendilhamento transversal caracteriza-se por uma relativa uniformidade entre as secções dos três estados, manifestando valores semelhantes.

De todos os tipos de fendilhamento em análise, o fendilhamento em bloco (ou malha) é o que apresenta menor número de registos. Apenas uma secção na Califórnia e duas no Mississippi apresentaram aquele tipo de patologia. Supõe-se que as restantes secções avaliadas não desenvolveram fendilhamento em bloco nos períodos com levantamento de dados.

No que se refere ao fendilhamento por fadiga, as secções da Califórnia revelam os valores mais elevados e díspares, provavelmente devido às duas ações de reabilitação de que foram alvo no período analisado. No Texas, onde os valores de tráfego nas vias consideradas é baixo, as áreas afetadas são as menores entre os casos estudados. Comparativamente aos restantes estados, as secções do Mississippi apresentam valores intermédios, sem grandes discrepâncias entre as suas secções.

Os registos da desagregação superficial, à semelhança do fendilhamento transversal e em bloco, não mostram tendências de variação muito claras. De realçar as oscilações pouco acentuadas nos registos existentes para as secções do Texas e a inexistência de informação para o Mississippi.

Os valores mais elevados de IRI verificam-se nas secções da Califórnia, destacando-se, uma vez mais, a influência das duas ações de conservação a que os pavimentos foram sujeitos nos valores registados. Os registos do Texas e do Mississippi apresentam semelhanças entre as respetivas secções, apesar dos valores do último serem inferiores.

No que se refere ao cavado de rodeira, as secções dos estados da Califórnia e do Texas exibem valores próximos entre si, apesar do último manifestar maiores profundidades. Dos três estados analisados, as secções do Mississippi são as que têm maiores níveis de tráfego, e também os valores mais elevados de cavados de rodeira.

4.7 Síntese

Os projetos SPS-5 foram os escolhidos no âmbito desta dissertação por existir informação armazenada relativa à reabilitação de pavimentos flexíveis, os mais utilizados na rede rodoviária nacional.

A tentativa de relacionar os estados norte-americanos com projetos SPS-5 com as cidades portuguesas representativas das regiões climáticas do território do continente

português, acabou por evidenciar algumas dificuldades. No entanto, com base na informação registada no âmbito do LTPP, pode fazer-se uma avaliação aproximada do que se pode esperar, em termos de desempenho a longo prazo das camadas betuminosas em serviço, para pavimentos de estradas localizadas nas regiões portuguesas consideradas, não obstante as diferenças climáticas observadas.

Dos fatores climáticos considerados, a temperatura do ar, modelada de acordo com o método proposto por Picado-Santos, foi o parâmetro utilizado para a comparação mais pormenorizada entre as regiões. Após a modelação da temperatura, e tendo em conta as limitações que se assinalaram, chegou-se aos seguintes pares de localizações americanas e portuguesas: Califórnia e Beja; Texas e Lisboa; Mississippi e Porto/Braga.

Os diferentes tipos de fendilhamento, a desagregação superficial, o índice de irregularidade internacional e o cavado de rodeira registados para as secções SPS-5 nos estados da Califórnia, Texas e Mississippi, foram alvo de uma breve análise, através da apreciação do seu desenvolvimento ao longo dos períodos de registo de dados.

5 Análise de Dados e Modelos Estatísticos de Previsão de Patologias Avaliadas no LTPP

5.1 Considerações Iniciais

Fazendo uso das potencialidades do programa de tratamento estatístico de dados SPSS - *Statistical Package for Social Sciences*, estudou-se a influência das técnicas e dos materiais de reabilitação na evolução ao longo do tempo das patologias avaliadas no âmbito do LTPP americano. Neste capítulo apresenta-se a análise relativa ao fendilhamento longitudinal, transversal e por fadiga, também designado por pele de crocodilo na terminologia do LTPP, ao cavado de rodeira e ao IRI.

Não serão considerados nas análises efetuadas o fendilhamento em bloco (ou malha) e a desagregação superficial. No primeiro caso, porque o fendilhamento em bloco corresponde a um estado relativamente avançado de degradação do pavimento, tornando-se mais relevante o estudo dos estados mais iniciais de degradação como, por exemplo, o fendilhamento longitudinal e transversal. No segundo caso, porque a desagregação superficial está relacionada com a deficiente qualidade do material superficial, e/ou com condições hídricas desfavoráveis, específicas de circunstâncias particulares, as quais podem levar a conclusões pouco generalizáveis para pavimentos sujeitos a condições muito diferentes.

No que se refere aos diferentes fatores considerados no LTPP, neste capítulo analisa-se a influência, a longo prazo, no desenvolvimento de cada uma das patologias avaliadas, dos seguintes aspetos: espessura da camada sobrejacente ao pavimento reabilitado (genericamente designada por camada de revestimento); preparação da superfície antes da ação de reabilitação; tipo de mistura betuminosa aplicada nas ações de reabilitação.

Com base nos dados disponíveis, recorre-se, sempre que possível, a dois tipos de análises de dados. Numa primeira etapa, efetua-se, para cada patologia analisada, a comparação da sua evolução no tempo com base nas diferentes características de reabilitação (variáveis independentes): espessura da camada de reabilitação; execução de fresagem ou aplicação direta sobre a superfície existente; aplicação de misturas betuminosas novas ou recicladas. Numa segunda etapa, faz-se a modelação estatística da evolução da variável dependente (a patologia em análise) com os

fatores que se revelaram mais influentes na evolução temporal da patologia. A modelação tinha como objetivo a obtenção de leis empíricas de previsão do desenvolvimento de cada uma das patologias analisadas, tendo por base o registo histórico dos dados do LTPP, para as secções consideradas.

No que se refere à metodologia de comparação, para cada patologia em estudo, fixam-se duas das três variáveis independentes, comuns a duas secções em cotejo, fazendo-se variar a terceira variável como forma de evidenciar a sua influência no desenvolvimento da patologia. Em cada uma das comparações que se efetuam, as características e designações das secções em teste seguem as regras já indicadas no Quadro 4.4.

No diagrama genérico 1, apresentado na Figura 5.1, as secções agrupadas dentro de cada um dos quatro gráficos têm as mesmas características de preparação de superfície e o mesmo tipo de mistura betuminosa aplicada na ação de reabilitação, diferenciando a espessura da camada executada. Assim, os grupos A, B, C e D dizem respeito ao estudo comparativo entre secções com 50 e 125 mm de espessura da camada de revestimento.

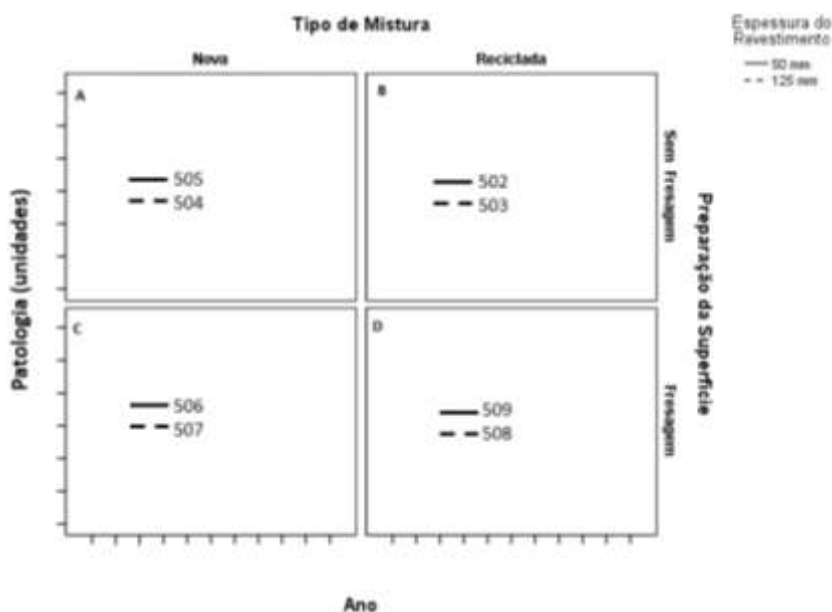


Figura 5.1 – Diagrama genérico 1: estudo comparativo entre secções reabilitadas com espessuras de reforço diferentes, possuindo o mesmo tipo de mistura e de preparação de superfície

O diagrama genérico 2, ilustrado na Figura 5.2, compara o tipo de mistura do revestimento em cada uma das secções dos grupos E, F, G e H, podendo aquela ser nova ou conter cerca de 30% de material reciclado. No caso do diagrama 2, em cada um dos quatro gráficos as secções possuem a mesma espessura de revestimento e a mesma preparação da superfície.

A manifesta insuficiência de dados relativos ao Mississippi não permite o estudo de modelos estatísticos de previsão dos diferentes tipos de fendilhamento. Naqueles casos, utiliza-se uma terceira forma de comparação que avalia a influência das diferentes preparações de superfície. A designação das secções dos grupos I, J, K e L da Figura 5.3, tal como nos restantes casos, utiliza as regras anteriormente indicadas no Quadro 4.4.

No que se refere aos modelos de previsão, estes são realizados através de regressões lineares múltiplas, representando a evolução no tempo da patologia estudada (variável dependente) com as características típicas das reabilitações dos projetos SPS-5 (variáveis independentes). Tendo em consideração o número de variáveis envolvido, a utilização de regressão linear multivariada revela-se a mais adequada, uma vez que a utilização de outros métodos implicaria o uso de modelos em várias iterações sucessivas, o que diminuiria a precisão dos modelos associados.

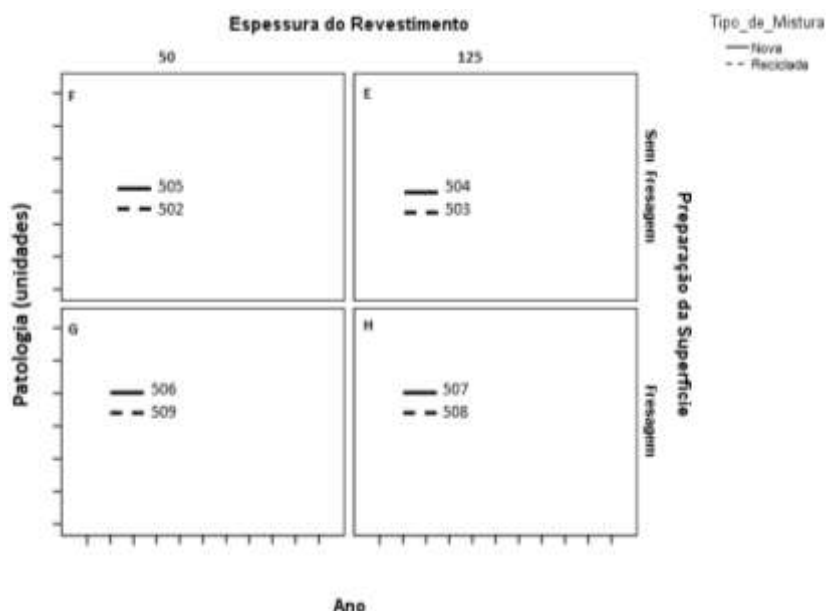


Figura 5.2– Diagrama genérico 2: estudo comparativo entre secções reabilitadas com diferentes misturas na camada de revestimento, possuindo a mesma espessura e preparação de superfície

As secções do estado da Califórnia, tal como referido em 4.5, sofreram duas intervenções de reabilitação, o que levou ao desenvolvimento de três tipos de modelos de previsão, para cada um dos períodos indicados a seguir:

- Período entre a primeira e a segunda reabilitação: de 1992 a 2001, inclusive;
- Período posterior à segunda reabilitação: de 2002 a 2007;
- Todo o período de registo de dados: 1992 a 2007.

No apêndice IV encontram-se os modelos associados às situações a) e b). No corpo do texto apresentam-se os modelos da situação c), considerados os mais ajustados aos dados registados, exibindo-se no Apêndice V, os resultados das análises de regressão linear multivariada.

Em todas as expressões de previsão, faz-se referência às variáveis independentes não utilizadas e às secções consideradas no modelo. Os quadros com os valores dos coeficientes de cada um dos modelos e os seus valores de significância, associados às diversas variáveis independentes, encontram-se no Apêndice V, tal como as variáveis excluídas dos modelos de previsão por não se revelarem significativas. Note-se que o facto do modelo de previsão adotado não constar no quadro das variáveis excluídas, permite concluir que apenas as variáveis com significância superior a 0,05, presentes nos quadros com os coeficientes, são excluídas pelos respetivos modelos. No mesmo Apêndice encontram-se os histogramas dos resíduos, os quais seguem uma distribuição aproximadamente normal, em que a média e o desvio padrão que lhe estão associados são próximos de zero e um, respetivamente.

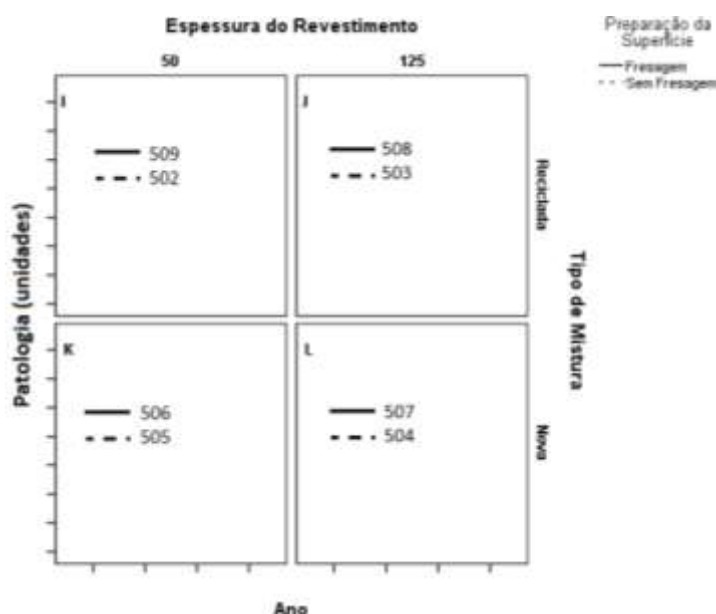


Figura 5.3 – Diagrama genérico 3: estudo comparativo entre secções reabilitadas com preparações de superfície diferentes, possuindo o mesmo tipo de mistura e igual espessura da camada de reforço

5.2 Fendilhamento

5.2.1 Fendilhamento Longitudinal

- Análise de dados das secções da Califórnia

Na Figura 5.4 representa-se a evolução do fendilhamento longitudinal nas secções em estudo do estado da Califórnia, segundo a forma indicada nos diagramas genéricos 1 e 2. Tal como se referiu, as secções em questão foram sujeitas a duas ações de reabilitação, a primeira em 1992 e a segunda em 2001 ou 2002, de acordo com a secção.

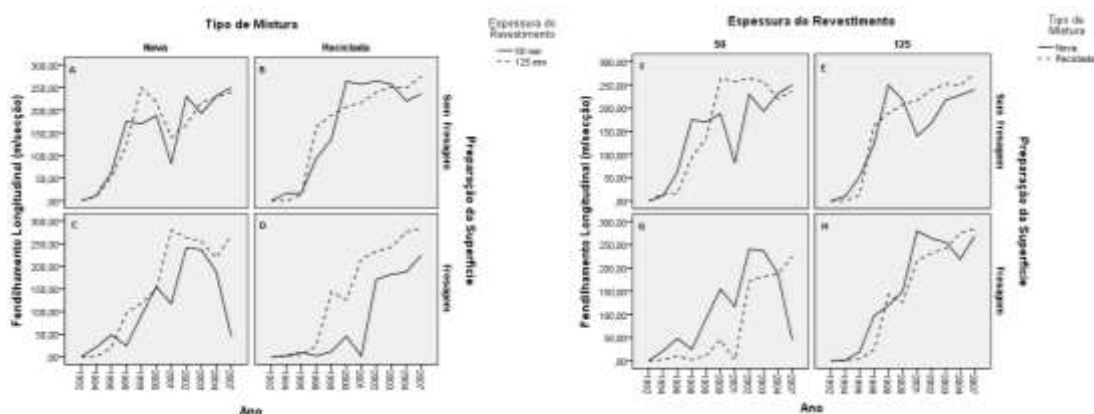


Figura 5.4 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento (esquerda) e do tipo de mistura (direita)

Nos grupos A, B, C e D verifica-se que os valores do comprimento de fendas longitudinais são tendencialmente mais elevados quando as secções foram sujeitas a reforços de 125 mm de espessura. Contudo, a diferença não é geralmente muito expressiva, excetuando o caso representado no gráfico D (camada de reforço com material reciclado, construída após fresagem da superfície existente). Para as secções analisadas, o aumento da espessura do reforço não se traduziu numa melhoria do desempenho relativamente ao fendilhamento longitudinal.

Quanto se analisa a influência do tipo de mistura utilizada no reforço, observa-se que até à realização da ação de conservação em 2000/2001, os pavimentos com misturas recicladas apresentavam geralmente menor extensão de fendas longitudinais. Contudo, após aquela ação, com exceção da situação G, o fendilhamento cresceu rapidamente nos casos de reforço com misturas recicladas, atingindo no final do período de estudo valores semelhantes, mas tendencialmente superiores aos dos casos reforçados com misturas novas. Note-se, contudo, que neste caso se afigura pouco verosímil o forte decréscimo do fendilhamento registado em 2007, nas situações com camadas de reforço de 50 mm, constituídas por misturas novas, suscitando-se de erro de registo na base de dados. Em termos de fendilhamento

longitudinal, não se observou, com base na análise feita, uma perda de desempenho assinalável quando se utilizaram misturas betuminosas, com cerca de 30% de material reciclado, na mesma função no pavimento que as misturas novas.

A análise complementar, utilizando regressão múltipla, permitiu obter a expressão (5.1) para a previsão do fendilhamento longitudinal para as secções da Califórnia:

$$y = -40,209 \times x_1 + 20,210 \times x_2 \quad [R^2=93,4\%] \quad (5.1)$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento longitudinal nas secções estudadas da Califórnia, m/secção;

x_1 : preparação da superfície, 0 para secções sem fresagem e 1 para secções fresadas;

x_2 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir valores entre 2 e 15 anos.

Do modelo traduzido pela expressão (5.1), não constam os valores referentes ao ano de 2001 das secções 504, 505 e 509, e os dados a partir de 2003 da secção 506, por serem muito diferentes dos registados para as demais secções. Também não foram incluídos os valores nulos da patologia, correspondentes ao ano 0 (execução da reabilitação), os quais contribuem pouco para a explicação do modelo e reduzem a aderência aos resultados.

As variáveis *Espessura do Revestimento* e *Tipo de Mistura* não são significativas para explicar o desenvolvimento das fendas longitudinais, como se pode verificar nos Quadros V.1 e V.2 do Apêndice V (através do valor de significância superior a 0,05 no primeiro, e pela ausência do modelo adotado no segundo), pelo que foram excluídas.

A Figura 5.5 exprime graficamente o modelo de previsão e os dados observados nas secções estudadas para a Califórnia. Verifica-se um certo afastamento de alguns pontos em relação à reta da equidade mas, tendo em conta o valor do fator de determinação de 93,4%, pode afirmar-se que o modelo reproduz razoavelmente a evolução da patologia.

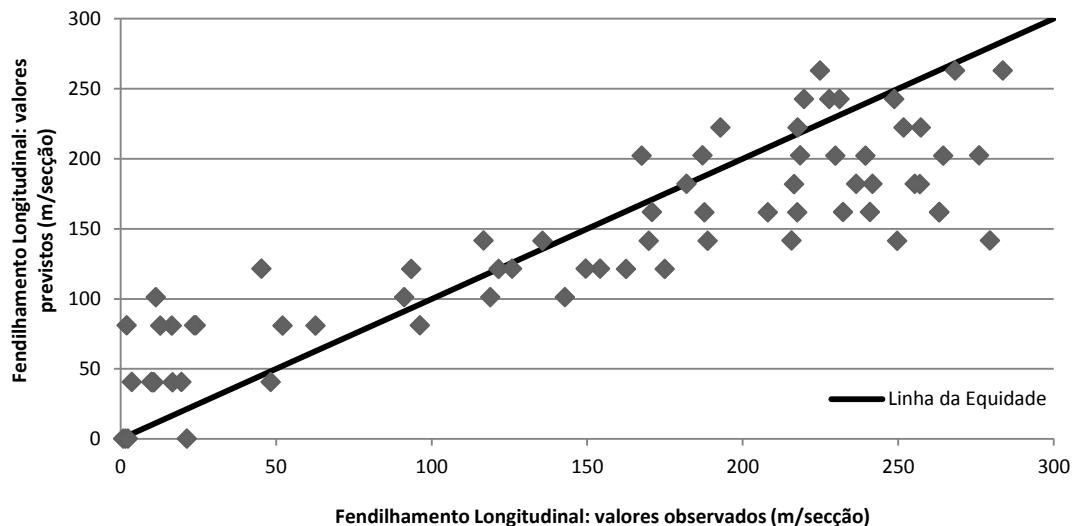


Figura 5.5 – Fendilhamento longitudinal para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

- Análise de dados das secções do Texas

Tal como se referiu anteriormente, pensa-se que tenha existido um erro na recolha ou no registo dos dados associados ao ano 2002 nas secções 504 e 508 do Texas no que se refere ao fendilhamento longitudinal. Assim, aquele ano não consta nas análises que se apresentam nesta secção do texto. Além disso, os valores da patologia nas secções 504 (grupos A e E) e 507 (grupos C e H) são consistentemente baixos nos anos considerados, o que é indicador de boas características dos pavimentos. Por estes motivos, nas análises seguintes não foram considerados os dados referidos nos grupos A, C, E e H.

Na Figura 5.6 faz-se a representação gráfica dos valores registados para as secções do Texas, de acordo com os modelos ilustrados nos diagramas genéricos 1 e 2. No que se refere ao fendilhamento longitudinal, verifica-se que uma maior espessura de reforço é geralmente benéfica para o desempenho do pavimento. Esta tendência não é seguida pelo grupo D (reforço com mistura reciclada e com fresagem prévia), para o qual foram observadas pequenas diferenças entre as secções com diferentes espessuras de revestimento.

Nos grupos F a H, nos quais se explicita a influência do tipo de mistura, as secções com camadas de reforço que incorporam 30% de materiais reciclados, evidenciaram maior comprimento de fendas longitudinais que as secções constituídas por materiais novos.

O modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas, obtido por análise de regressão multivariada, é dado pela expressão (5.2):

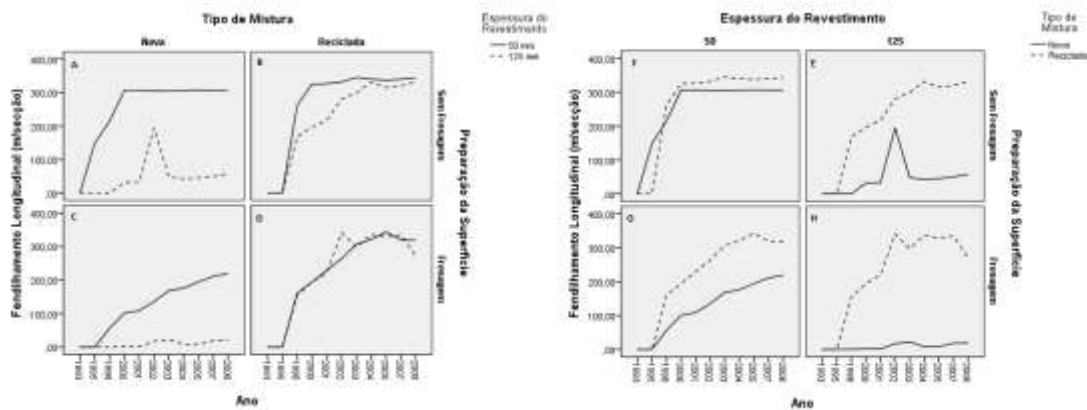


Figura 5.6 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e o tipo de mistura (direita)

$$y = -58,015 \times x_1 + 80,100 \times x_2 + 22,752 \times x_3 \quad [R^2=95,6\%] \quad (5.2)$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento longitudinal no Texas, m/secção;

x_1 : preparação da superfície, 0 para secções sem fresagem e 1 para secções fresadas;

x_2 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 15 anos.

Não foram considerados para o modelo os valores das secções 504 e 507 por serem baixos e diferentes das demais secções, os valores nulos, assim como os do ano de 2002, para a secção 508, pelas razões já apontadas.

Nos Quadros V.3 e V.4 e na Figura V.2 do Apêndice V, apresentam-se os resultados da análise de regressão efetuada, indicando-se a variável excluída do modelo dado pela expressão (5.2).

Compara-se graficamente na Figura 5.7, o modelo de previsão e os dados observados para as secções introduzidas no modelo do estado do Texas, verificando-se a bondade do ajuste a que se chegou.

- Análise de dados das secções do Mississippi

O fendilhamento longitudinal nas secções do Mississippi apresenta um desenvolvimento anormal nas secções 502 e 509, tal como foi referido em 4.5.1. Uma vez que pertencem aos grupos B, D, F, G e I, embora os valores correspondentes estejam representados, não são objeto de análises específicas. Não foi possível obter uma modelação satisfatória através de análise de regressão.

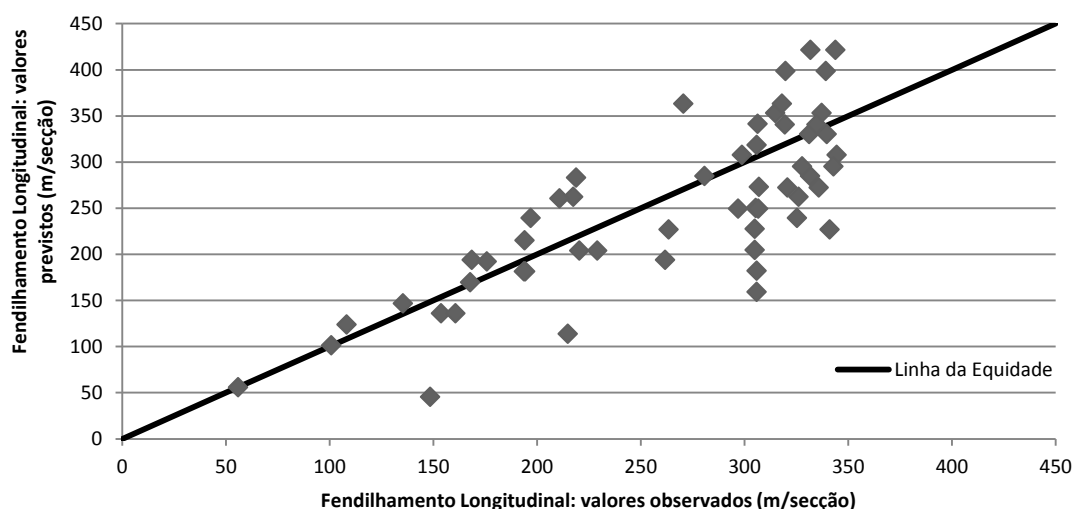


Figura 5.7 – Fendilhamento longitudinal para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

Como se observa na Figura 5.8 para os casos em que a camada de reforço foi construída com misturas betuminosas novas (grupos A e C), o aumento da espessura do reforço mostrou ser benéfico até cerca de 7 anos após a ação de reabilitação, embora no final do período de registo (9 anos) o reforço com menos espessura tivesse menor comprimento de fendas longitudinais.

Pela variação irregular e pouco verosímil dos dados no caso de camadas de reforço com material reciclado, não é possível concluir acerca das tendências observadas para as duas espessuras de camadas em comparação.

Quanto ao grupo H, a patologia apresentou valores mais elevados quando o reforço do pavimento incluiu materiais reciclados. No grupo E observou-se a mesma tendência, embora no final do período de registo tenha ocorrido um aumento brusco da extensão de fendas longitudinais, no caso de reforço com materiais novos, o que fez inverter a tendência.

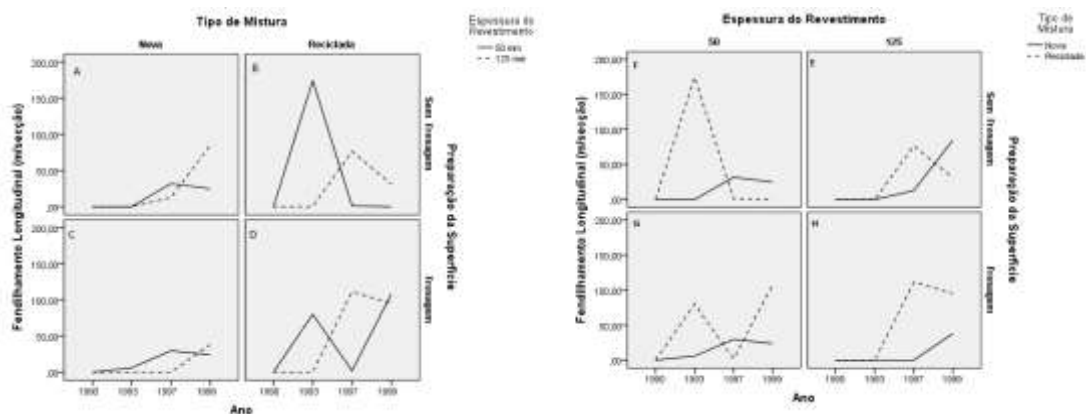


Figura 5.8 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento (esquerda) e o tipo de mistura (direita)

Pela Figura 5.9 observa-se que as secções do grupo K não são influenciadas pela preparação da superfície. No que se refere aos restantes grupos, observam-se valores mais elevados no grupo J, nas secções que sofreram atividades de fresagem (125 mm de espessura com material reciclado), verificando-se em L (125 mm de espessura com mistura nova) a situação contrária.

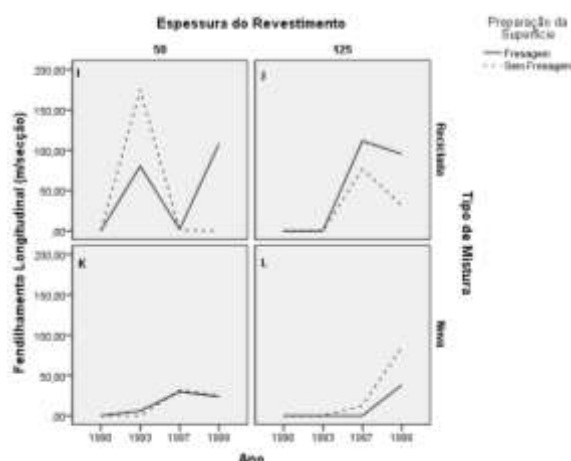


Figura 5.9 – Fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície

Pelo estudo comparativo da influência das três variáveis anteriores (*espessura do reforço, tipo de mistura e preparação da superfície*), verificou-se que a secção 507 é a que tem o melhor valor de fendilhamento longitudinal no Mississippi. A secção foi reabilitada com 125 mm de espessura de material novo, tendo-se realizado previamente fresagem das camadas betuminosas existentes.

5.2.2 Fendilhamento Transversal

- Análise de dados das secções da Califórnia

O desenvolvimento do fendilhamento transversal nas secções da Califórnia está exposto graficamente na Figura 5.10, entre 1992 e 2007. Realça-se o facto de nas secções 502 e 503, haver uma redução considerável da patologia por volta de 2000/2001, o que poderá estar relacionado com a ação de reabilitação, não se conhecendo uma explicação razoável para o crescimento abrupto entre 2004 e 2007.

Assim, o efeito do aumento da espessura do revestimento melhorou o desempenho nos grupos A e C (reforço com mistura nova). Já nos casos em que a reabilitação foi feita com mistura reciclada, o aumento da espessura praticamente não conduziu a menor extensão de fendas transversais no período entre 1992 e 2001 (grupos B e D). A partir daí, o aumento de espessura da camada de revestimento produziu um maior desenvolvimento da patologia.

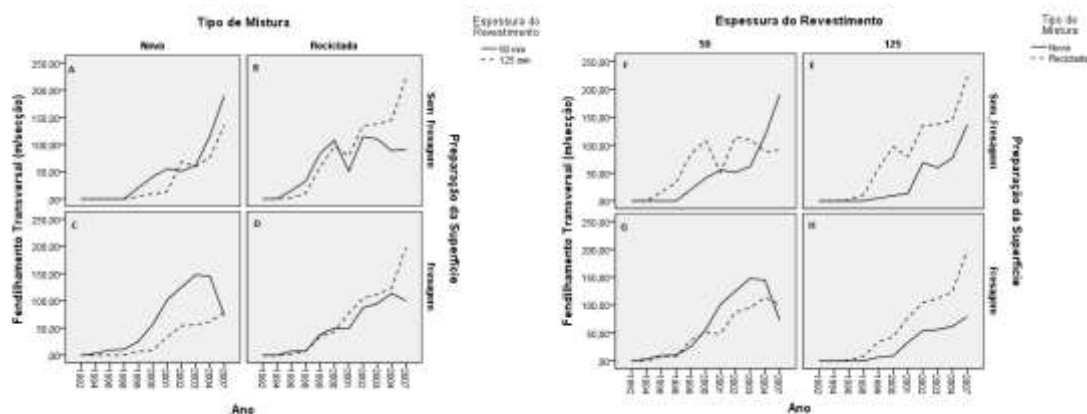


Figura 5.10 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento (esquerda) e do tipo de mistura (direita)

No que se refere às comparações entre secções constituídas por diferentes tipos de misturas, constatou-se que as reabilitações com misturas novas apresentam, em geral, menor comprimento de fendas transversais. Contudo, as secções com camadas de revestimento menos espessas (50 mm) mostraram pior desempenho que as congéneres com materiais reciclados a partir de alguns anos de idade (sem fresagem prévia [F]: nos últimos 2 anos de registo; com fresagem prévia [G]: após realização da reabilitação intermédia).

A análise de regressão conduziu à expressão (5.3) para a previsão do fendilhamento transversal para as secções da Califórnia:

$$y = -0,318 \times x_1 + 15,662 \times x_2 + 10,800 \times x_3 \quad [R^2=86,6\%] \quad (5.3)$$

onde:

y : previsão do fendilhamento transversal para as secções da Califórnia, m/secção;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 12 anos.

No modelo anterior, considerou-se que os valores do ano 2001 das secções 502 e 503, os de 2007 da secção 506, e todos os valores nulos, não contribuem para a explicação do mesmo, pelo que foram incluídos.

Tal como se observa no Quadro V.5 do Apêndice V, a variável *Preparação da Superfície* foi a única rejeitada pelo modelo (com valor de significância superior a 0,05), não constando do Quadro V.6 o modelo 4 que traduz a expressão (5.3). No mesmo anexo, na Figura V.3, apresenta-se o histograma da normalidade dos resíduos.

Os restantes modelos de previsão, separados para os diferentes períodos de reabilitação, não apresentados no corpo deste texto, encontram-se no Apêndice IV.

Na Figura 5.11 comparam-se os valores previstos pelo modelo (5.3) e os dados observados de todas as secções constantes do mesmo, observando-se algumas dificuldades do modelo em reproduzir com suficiente aproximação os valores observados.

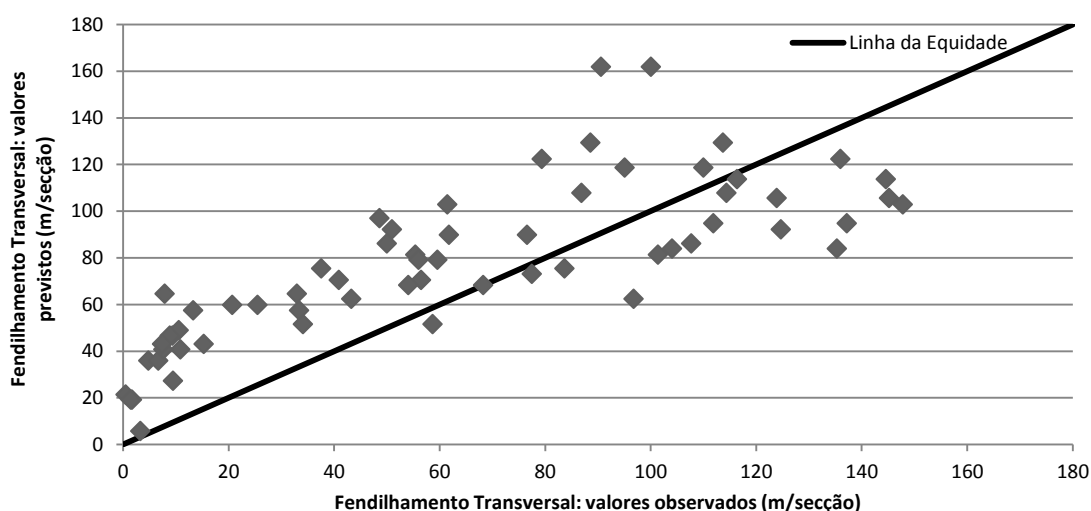


Figura 5.11 – Fendilhamento transversal para as secções da Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

- Análise de dados das secções do Texas

Através da Figura 5.12, verifica-se que as secções 504 (grupo A), 506 e 507 (grupo C), não possuem valores significativos de fendilhamento transversal no estado do Texas, o que traduz bons desempenhos em relação àquela patologia. Note-se também que o valor referente ao ano de 2008, na secção 505 (grupos A e F), evidencia um

brusco aumento da patologia, sendo provável que corresponda a um erro de registo. Assim, nas análises do fendilhamento transversal para as secções do Texas que se apresentam a seguir, não se incluem os dados referentes ao ano de 2008.

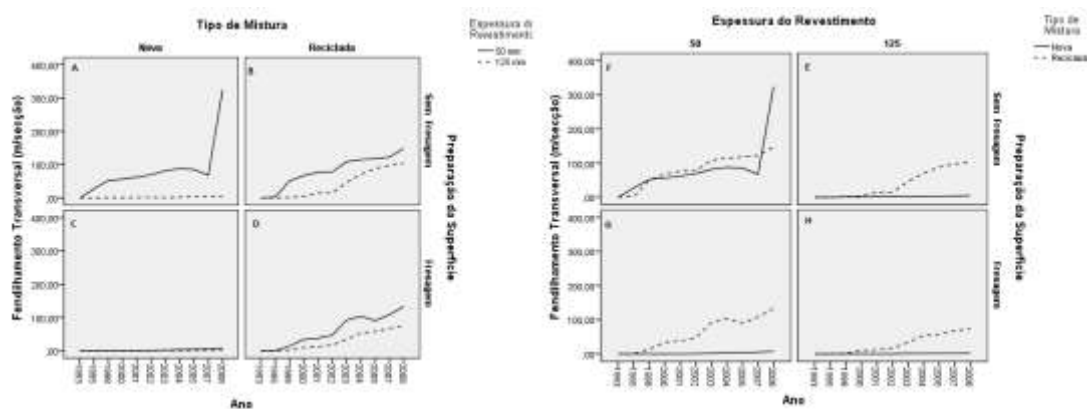


Figura 5.12 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de mistura (direita)

Tendo por base os valores dos grupos A, B e D, verifica-se que o comprimento das fendas transversais é maior nas secções com 50 mm de espessura de revestimento. A construção de camadas de reforço mais espessas levou a melhores desempenhos, excetuando o grupo C para o qual praticamente não se observaram fendas transversais, independentemente da espessura da camada construída.

A análise dos gráficos relativos aos grupos F a H, mostra que as reabilitações com misturas betuminosas recicladas tendem a desenvolver maior comprimento de fendas transversais que as constituídas por misturas novas.

A análise de regressão para o fendilhamento transversal no Texas permitiu chegar à expressão (5.4).

$$y = -0,504 \times x_1 - 17,722 \times x_2 + 16,561 \times x_3 + 9,897 \times x_4 \quad [R^2=95,3\%] \quad (5.4)$$

onde:

y: previsão do fendilhamento transversal no Texas, m/secção;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : preparação da superfície, 0 para secções sem fresagem e 1 para secções fresadas;

x_3 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_4 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 15 anos.

Pelas razões já referidas, não integram o modelo anterior os valores das secções 504, 506 e 507, os valores nulos da patologia e os valores referentes ao ano de 2008.

No Quadro V.7 do Apêndice V, encontram-se os valores de significância das variáveis que constituem o modelo, e na Figura V.4 do mesmo Apêndice, o histograma da normalidade dos resíduos. Os Quadros V.7 e V.8 mostram que nenhuma das variáveis é rejeitada pelo modelo.

O modelo de previsão e os dados observados em todas as secções referidas no mesmo estão representados graficamente na Figura 5.13, verificando-se um bom ajustamento ($R^2 = 0,953$).

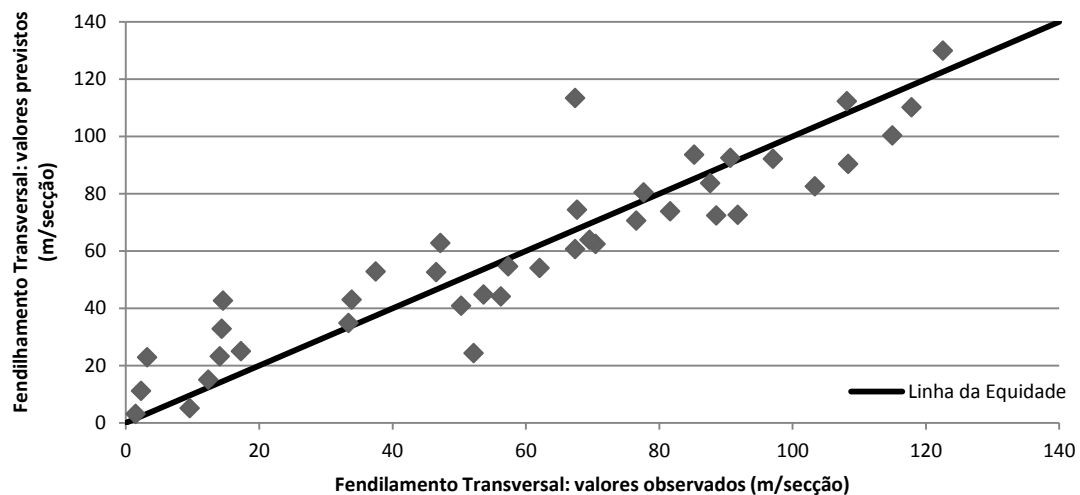


Figura 5.13 – Fendilhamento transversal para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

- Análise de dados das secções do Mississippi

Representam-se graficamente nas Figuras 5.14 e 5.15, os registos de fendilhamento transversal no Mississippi.

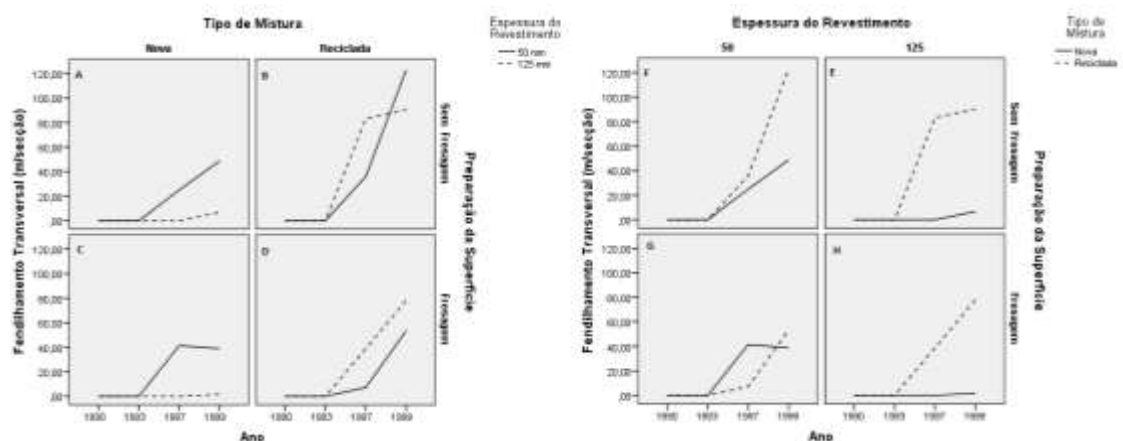


Figura 5.14 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de material (direita)

O aumento da espessura da camada de reforço, quando construído com misturas betuminosas novas, teve uma influência favorável no desempenho dos pavimentos (grupos A e C). No caso de reabilitação com materiais reciclados, o aumento da espessura levou a desempenhos geralmente inferiores, no que diz respeito ao fendilhamento transversal (grupos B e D).

As secções reabilitadas com misturas com cerca de 30% de materiais reciclados, apresentam geralmente maior comprimento de fendas transversais (grupos E, F e H), com exceção do grupo G.

Na Figura 5.15 representam-se os mesmos dados de acordo com o diagrama genérico 3, de forma a apreciar a influência do tratamento da superfície.

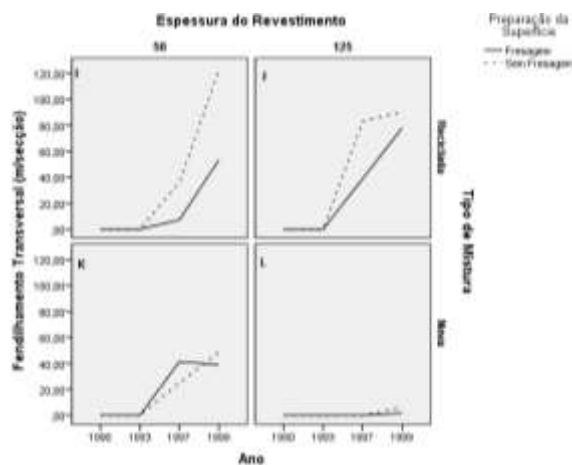


Figura 5.15 – Fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície (m/secção)

Nos grupos I e J, os quais correspondem a camadas de reforço com misturas recicladas, verifica-se que o fendilhamento é menor nas secções cujos pavimentos foram fresados superficialmente antes da reabilitação. Nos casos em que as camadas foram construídas por misturas novas, como é o caso do grupo K, o efeito benéfico da fresagem não se verificou.

5.2.3 Fendilhamento por Fadiga (ou Pele de Crocodilo)

- Análise de dados das secções da Califórnia

O fendilhamento por fadiga ou pele de crocodilo está traduzido graficamente na Figura 5.16, não se encontrando uma explicação plausível para os picos observados nas secções do grupo B (502 e 503) em 1998, e para o crescimento abrupto da área fendilhada em 1996 na secção 503.

As secções reabilitadas com camadas de 50 mm de espessura apresentam maiores áreas fendilhadas que as reabilitadas com 125 mm. Excetua-se o grupo A, no qual a

área degradada foi superior na secção com reforço mais espesso, a partir do ano 2000. Verifica-se também que o contributo do aumento de espessura para a redução da área afetada, foi muito mais marcado nos casos em que se utilizou mistura com material reciclado que nos casos com mistura nova.

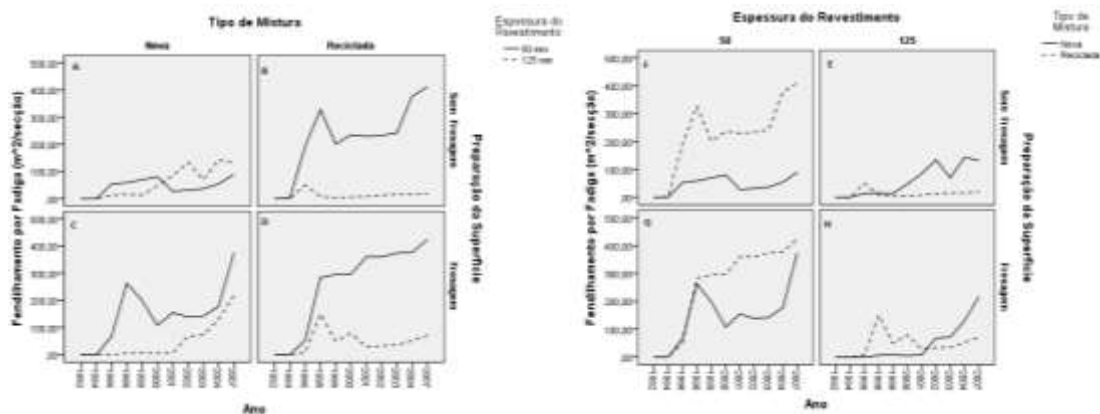


Figura 5.16 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento (esquerda) e com o tipo de mistura (direita)

A apreciação da influência do tipo de mistura utilizada na reabilitação no fendilhamento, evidencia que para pequenas espessuras de reforço, as misturas novas apresentaram um desempenho geralmente melhor, enquanto que as misturas recicladas tiveram um desempenho superior a longo prazo, nos casos em que as espessuras do reforço eram elevadas.

O fendilhamento por fadiga para as secções da Califórnia pode ser traduzido pela expressão (5.5), obtida por análise de regressão.

$$y = -1,439 \times x_1 + 102,399 \times x_2 + 20,649 \times x_3 \quad [R^2=82,7\%] \quad (5.5)$$

onde:

y : previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia, $m^2/secção$;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir valores entre 2 e 15 anos.

Os valores registados, em 1998 para as secções 502, 506 e 508, em 2003 para a secção 504, para a secção 503, e todos os valores nulos, não foram incluídos no modelo, por corresponderem a valores muito diferentes dos restantes.

O modelo traduzido pela expressão (5.5) rejeita a *Preparação da Superfície*, tal como demonstra o valor rodeado a vermelho no Quadro V.9 do Apêndice V, e a ausência do referido modelo no Quadro V.10. O histograma da normalidade dos resíduos encontra-se no mesmo apêndice, na Figura V.5.

Na Figura 5.17 representa-se graficamente o modelo de previsão e os dados observados nas secções da Califórnia. A aderência do modelo aos valores registados não apresenta uma grande qualidade, como já se mostrou pelas variações apresentadas na Figura 5.16.

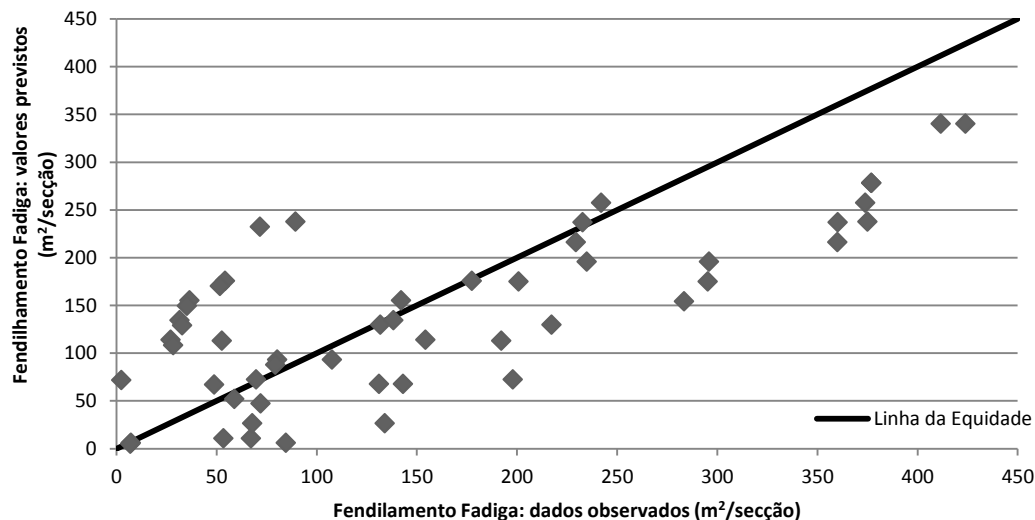


Figura 5.17 – Fendilhamento por fadiga para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

- Análise de dados das secções do Texas

Como se observa na Figura 5.18, as secções 504, 505 (grupo A) e 506 (grupo C) são as detentoras do melhor desempenho, por possuírem valores nulos da patologia. Trata-se de secções nas quais se utilizou mistura nova para construir a camada de reabilitação dos pavimentos.

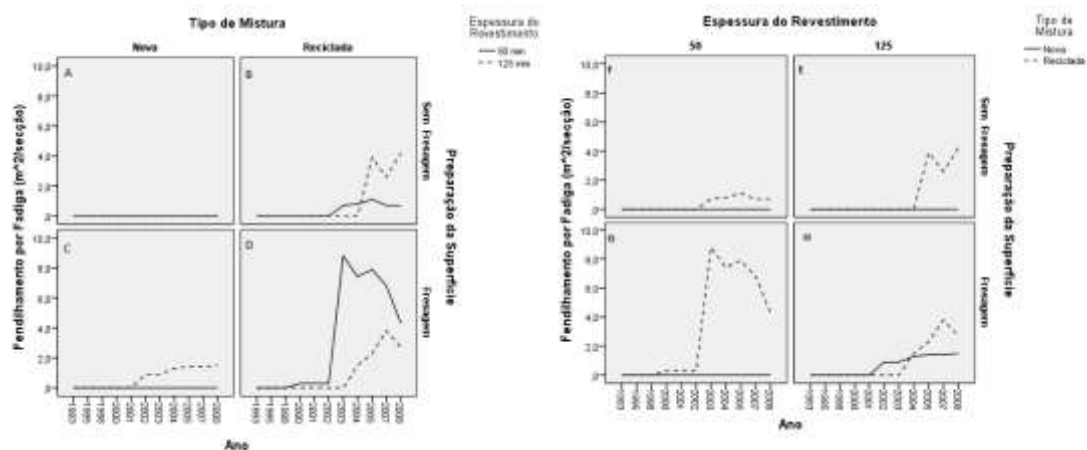


Figura 5.18 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de material (direita)

Tal como se observa no lado esquerdo da Figura 5.18, para os grupos A e C, com mistura nova aplicada como reforço, não ficou patente uma melhoria de desempenho pelo aumento da espessura. O caso com maior espessura de reforço do grupo C, teve mesmo pior desempenho a longo prazo. Nos casos de reforço com mistura reciclada, os resultados são contraditórios: no grupo B ocorreu menos fendilhamento a longo prazo para menor espessura de revestimento; no grupo D teve melhor desempenho o caso com reforço de maior espessura.

Nos gráficos do lado direito da Figura 5.18, observa-se que o reforço com misturas recicladas foi consistentemente pior que o reforço com misturas novas no que se refere ao desenvolvimento de fendilhamento por fadiga.

Dados os baixos valores de fendilhamento em várias das secções analisadas e as grandes oscilações observadas, optou-se por não desenvolver modelos de previsão com os dados de fendilhamento por fadiga do Texas.

- Análise de dados das secções do Mississippi

As Figuras 5.19 e 5.20 representam os valores do fendilhamento por fadiga registados para as secções do Mississippi. As secções 504 e 507 (grupos A e C), ambas correspondentes a um reforço com mistura nova, apresentam bom desempenho, com áreas fendilhadas nulas. Também as secções 503 e 505 (grupos B e A), ambas sem fresagem prévia, evidenciaram bom desempenho no que se refere a este tipo de fendilhamento.

Por observação da Figura 5.19, é notória a melhoria de desempenho quando se aumenta a espessura do revestimento de 50 para 125 mm. Nos gráficos da parte direita da figura, observa-se que a utilização de camadas com misturas betuminosas recicladas conduziu a maiores áreas afetadas por fendilhamento.

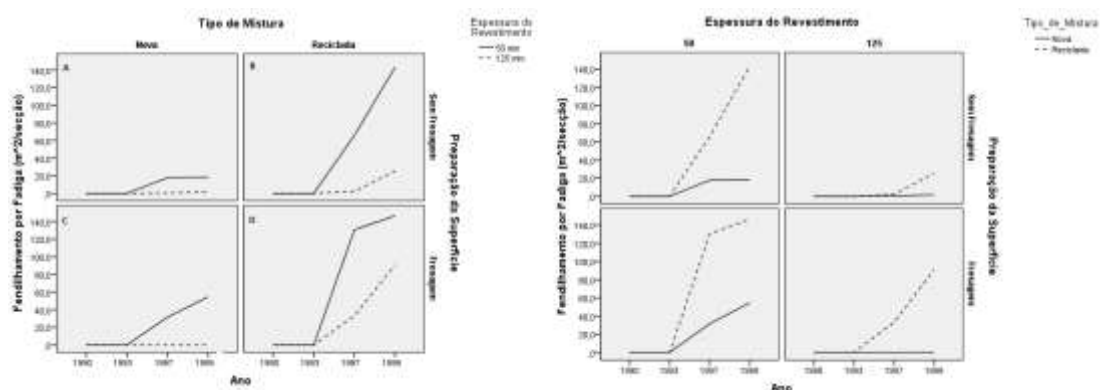


Figura 5.19 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do reforço (esquerda) e tipo de mistura (direita)

Na Figura 5.20 constata-se que a preparação da superfície por fresagem prévia antes da execução do revestimento, não contribuiu para a melhoria do desempenho em

termos de área fendilhada de pavimento, sendo aquela técnica prejudicial nos casos J e K.

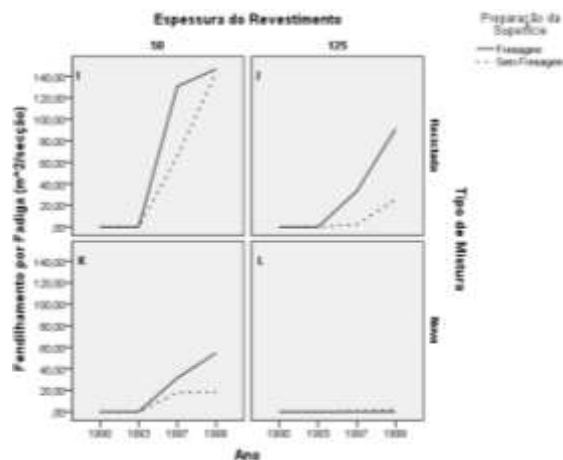


Figura 5.20 – Fendilhamento por fadiga nas secções consideradas para o Mississippi em função da preparação da superfície

5.3 Índice de Irregularidade Internacional (IRI)

- Análise de dados das secções da Califórnia

A Figura 5.21 mostra o desenvolvimento do IRI nas secções consideradas para a Califórnia.

Não obstante a variabilidade da evolução do IRI no tempo, verifica-se que as secções reabilitadas com 50 mm de espessura possuem valores mais elevados da patologia a longo prazo que as reabilitadas com 125 mm. Houve, portanto, um claro contributo do aumento da espessura na melhoria do desempenho. Além disso, para as situações de reforço mais espesso, o IRI manteve-se sem grande alteração e com baixos valores a longo prazo, o que não se verificou nos casos com reforço de baixa espessura. No entanto, no grupo A, no período entre 1992 e 2000, constata-se uma semelhança de desempenho entre as secções.

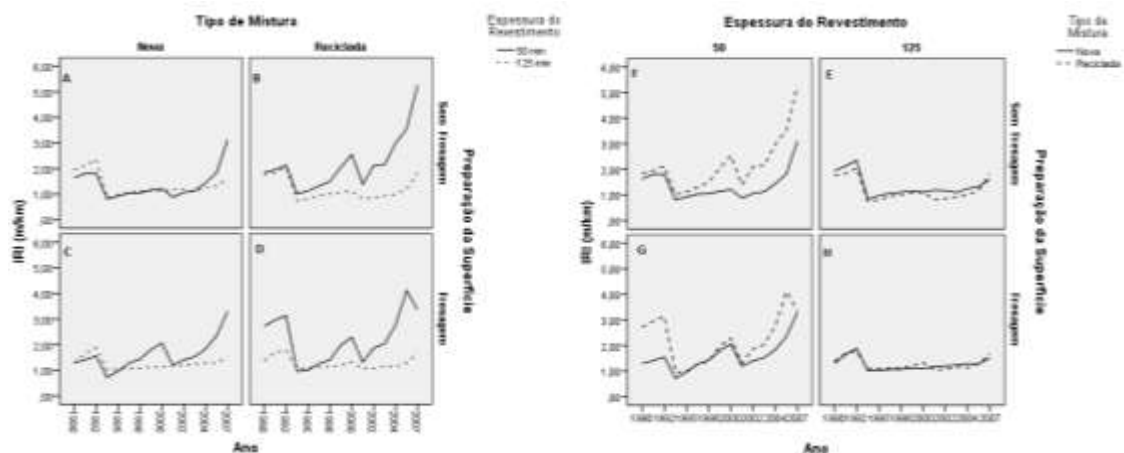


Figura 5.21 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de mistura (direita)

No que se refere à influência do tipo de mistura, observam-se valores bastante próximos nos grupos E, G e H. Contudo, no grupo F observam-se valores um pouco mais elevados na secção cujo revestimento incorpora material reciclado. A espessura do revestimento parece ter uma influência preponderante, uma vez que o efeito do tipo de mistura betuminosa não se observa para os casos de reforço com 125 mm de espessura.

O IRI para as secções da Califórnia pode ser estimado pela expressão (5.6), obtida por análise de regressão (Quadro V.11 e Figura V.6 do Apêndice V).

$$y = -0,010 \times x_1 + 0,662 \times x_2 + 0,172 \times x_3 \quad [R^2=90,7\%] \quad (5.6)$$

onde:

y : previsão do IRI na Califórnia, m/km;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir valores entre 3 e 17 anos.

Não foram incluídos no modelo anterior as secções 504, 507 e 508, por terem valores baixos e com uma variação muito pequena ao longo do tempo. Também não foram considerados os valores relativos ao ano 2000 das secções 502, 506 e 509, e os de 1999 da secção 502 por estarem visivelmente fora da tendência dos restantes. O modelo integrou os dados a partir de 1993, ano 3, o período mais regular de desenvolvimento do IRI. Considerando no modelo de previsão desta patologia todos os valores constantes na base de dados obteve-se um coeficiente de determinação de 0,88 (ponto IV.4 do Apêndice IV).

A variável *Preparação da Superfície* foi rejeitada pelo modelo (Quadros V.11 e V.12).

Na Figura 5.22 encontra-se a representação gráfica dos valores de IRI estimados pela expressão (5.6) e os dados observados de todas as secções do modelo. As distâncias observadas entre as distribuições devem-se fundamentalmente à não diferenciação dos períodos antes e depois da reabilitação de 2000/2001, embora, globalmente, o ajuste apresente um coeficiente de determinação, R^2 , elevado.

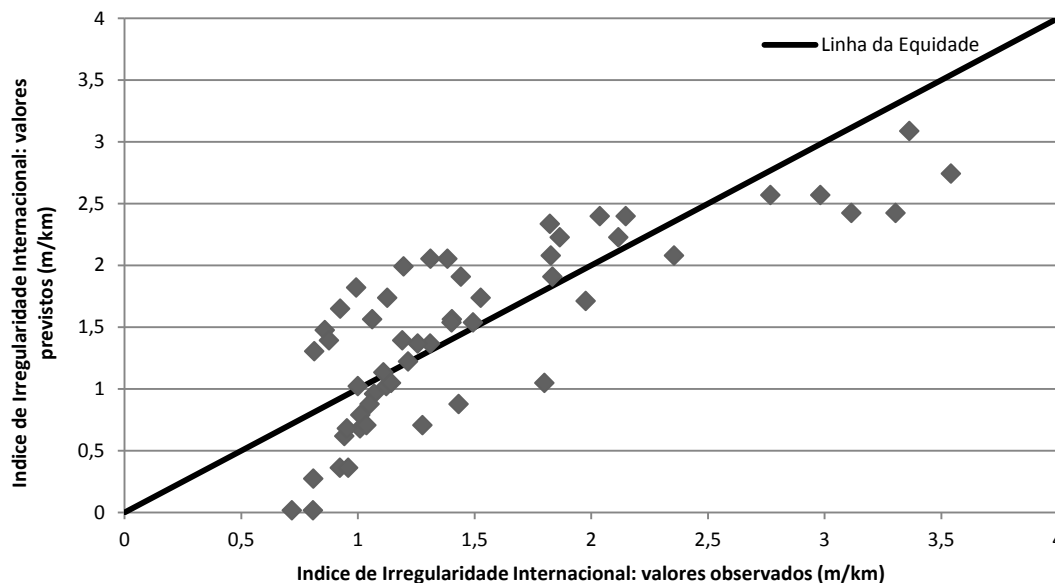


Figura 5.22 – Índice de Irregularidade Internacional para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

- Análise de dados das secções do Texas

O desenvolvimento cronológico do IRI no estado do Texas é retratado através da Figura 5.23, de modo a apreciar os efeitos das variáveis em estudo.

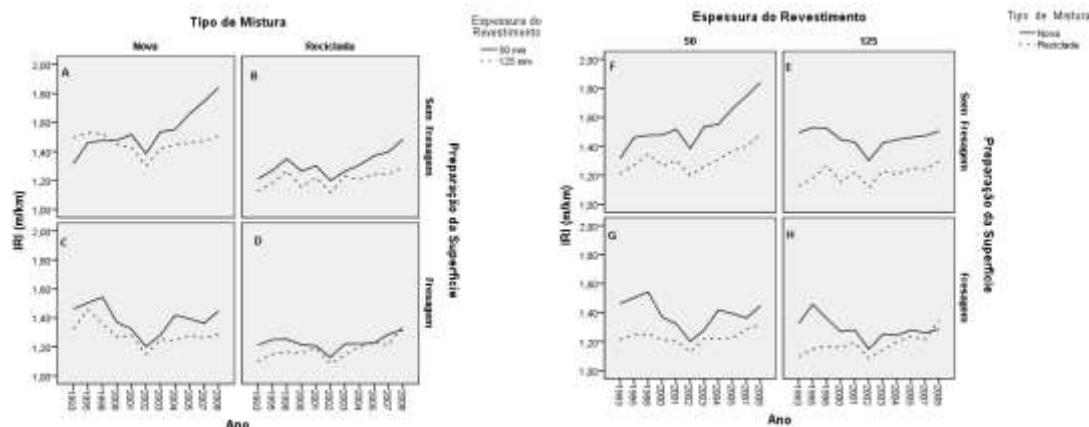


Figura 5.23 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de material (direita)

Verifica-se que o valor do IRI é inferior nas secções rehabilitadas com 125 mm de espessura, e que as secções com materiais novos, apresentam valores de IRI mais elevados que as secções revestidas por uma mistura contendo material reciclado. A fresagem prévia tem um efeito benéfico, embora pouco importante, mais visível nas situações rehabilitadas com misturas recicladas.

Após a construção e análise de um modelo de previsão, percebeu-se que o mesmo não era representativo dos dados registados, pelo que não é apresentado. O desenvolvimento atípico observado na Figura 5.23, o qual pode ser explicado, em parte, pela realização (não documentada) de uma ação de conservação realizada em 2002.

- Análise de dados das secções do Mississippi

A Figura 5.24 ilustra o IRI para as secções do Mississippi. Verifica-se que as secções rehabilitadas com maior espessura, com exceção do grupo B, apresentam valores mais baixos de IRI.

Contrariamente ao que se observa para o grupo F, as secções rehabilitadas com materiais novos tendem a apresentar valores de IRI mais baixos que as reforçadas com misturas recicladas.

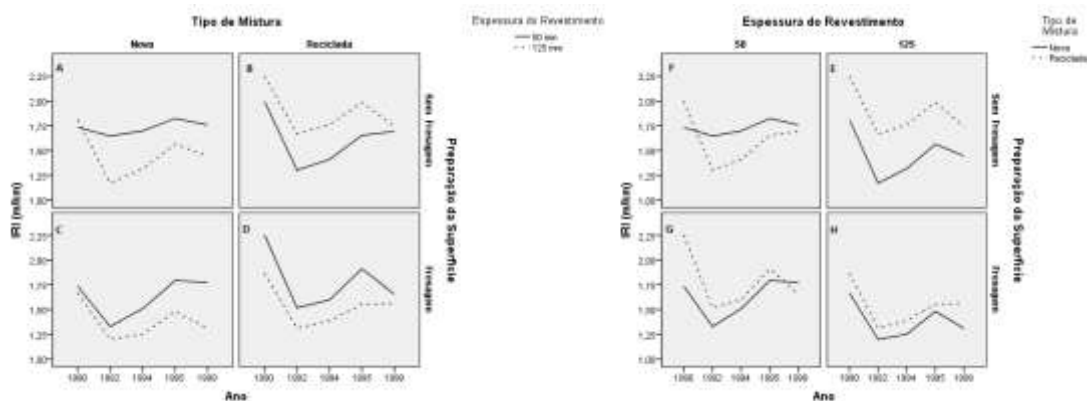


Figura 5.24 – Índice de Irregularidade Internacional nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura de revestimento (esquerda) e tipo de material (direita)

Tratando-se de uma amostra de reduzida dimensão, e à semelhança do caso anterior, também o modelo de previsão do IRI elaborado para o Mississippi não conseguiu traduzir a realidade, motivo pelo qual não se encontra representado.

5.4 Rodeiras

- Análise de dados das secções da Califórnia

O desenvolvimento de rodeiras nas secções estudadas na Califórnia encontra-se representado na Figura 5.25.

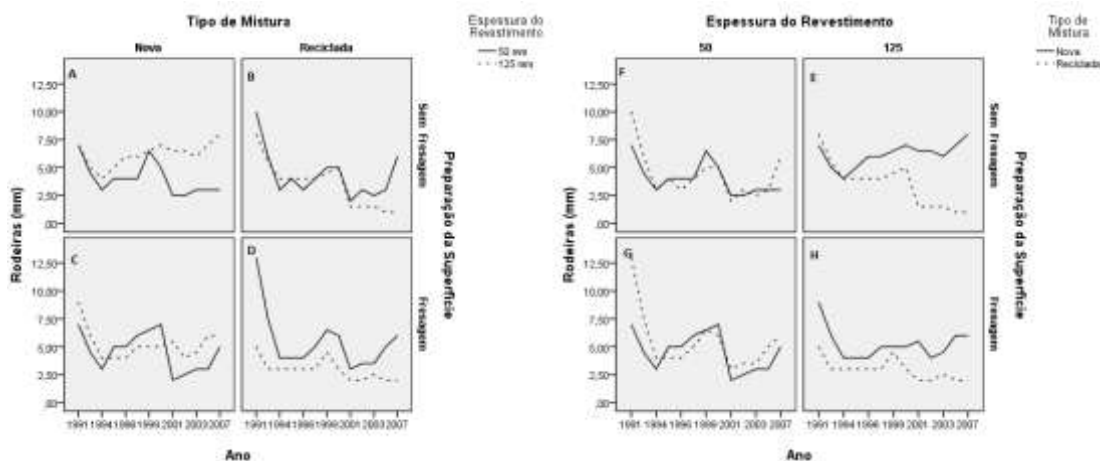


Figura 5.25 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para a Califórnia em função da espessura de revestimento (esquerda) e tipo de mistura (direita)

De acordo com os dados representados para os grupos A e C, quando o revestimento foi efetuado por uma mistura nova, o aumento da espessura fez aumentar o cavado de rodeira a longo prazo. Nos grupos B e D (mistura reciclada), o aumento da espessura teve um ligeiro contributo para a redução das rodeiras a longo prazo.

A aplicação de mistura betuminosa reciclada conduziu a um menor cavado de rodeira que a construção com mistura nova. Esta conclusão é clara para camadas de reabilitação mais espessas (grupos E e H). Já no caso de menores espessuras de revestimento, o desempenho da mistura nova e da reciclada é próximo, com uma ligeira vantagem da mistura nova a longo prazo.

O modelo de previsão representativo da globalidade dos dados registados, abrangendo os dois períodos de reabilitação, foi retirado do estudo por reproduzir mal os dados registados na base de dados do LTPP. Contudo, à semelhança das restantes patologias estudadas para o Estado da Califórnia, apresentam-se no ponto IV.5 do Apêndice IV os modelos de previsão do cavado de rodeira desenvolvidos para os dois períodos de serviço das secções, antes e após a ação de reabilitação de 2001.

- Análise de dados das secções do Texas

A evolução do cavado de rodeira nas secções do Texas está traduzido graficamente na Figura 5.26. Os grupos B e D (revestimento com uma mistura reciclada)

desenvolveram cavados de rodeira mais baixos quando os pavimentos foram reabilitados com camadas mais espessas. Ao invés, para os grupos A e C (reabilitação com mistura nova), o cavado de rodeira foi ligeiramente mais baixo nas secções com camadas de reforço mais delgadas.

Relativamente à influência do tipo de mistura, verificou-se que, com exceção do grupo F, as secções reabilitadas com materiais novos apresentaram valores mais elevados de cavado de rodeira. Contudo, é mais evidente a contribuição favorável da mistura reciclada para as camadas de revestimento mais espessas.

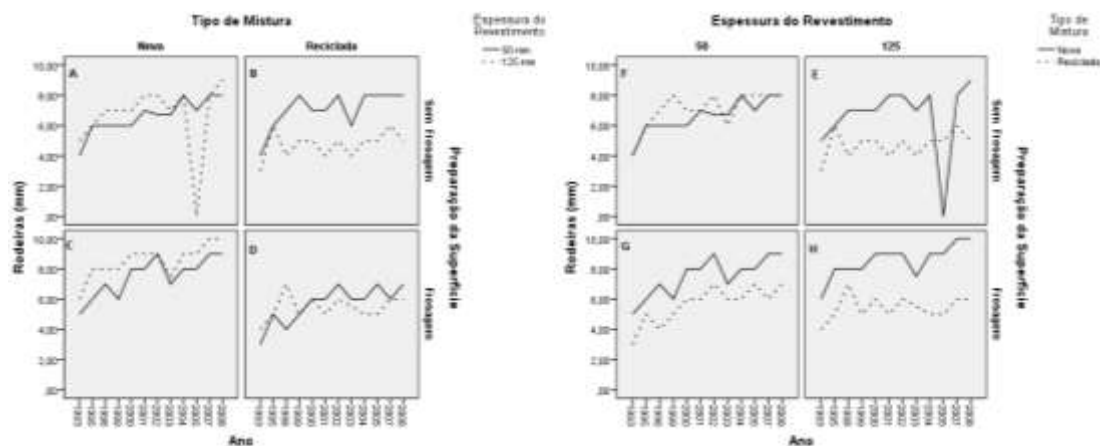


Figura 5.26 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e do tipo de mistura (direita)

Não foi possível chegar a um modelo de previsão do cavado de rodeira para as secções do Texas que fosse representativo dos valores registados ao longo do tempo.

- Análise de dados das secções do Mississippi

Na Figura 5.27, a qual resume os dados do Mississippi, observa-se que os valores do cavado de rodeira foram mais elevados quando as secções tinham camadas de revestimento de maior espessura (gráficos do lado esquerdo).

Analisando os dados relativos às secções dos grupos F, G e H, verifica-se que o tipo de mistura praticamente não influencia o desempenho. No entanto, verificou-se para o grupo E que a utilização de mistura reciclada conduziu a melhor desempenho em termos de cavado de rodeira.

O modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no estado do Mississippi é dado pela expressão (5.7), obtido por análise de regressão:

$$y = 0,073 \times x_1 - 1,354 \times x_2 + 1,073 \times x_3 \quad [R^2=98,7\%] \quad (5.7)$$

Onde:

y: previsão do cavado de rodeira no Mississippi, mm;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 9 anos.

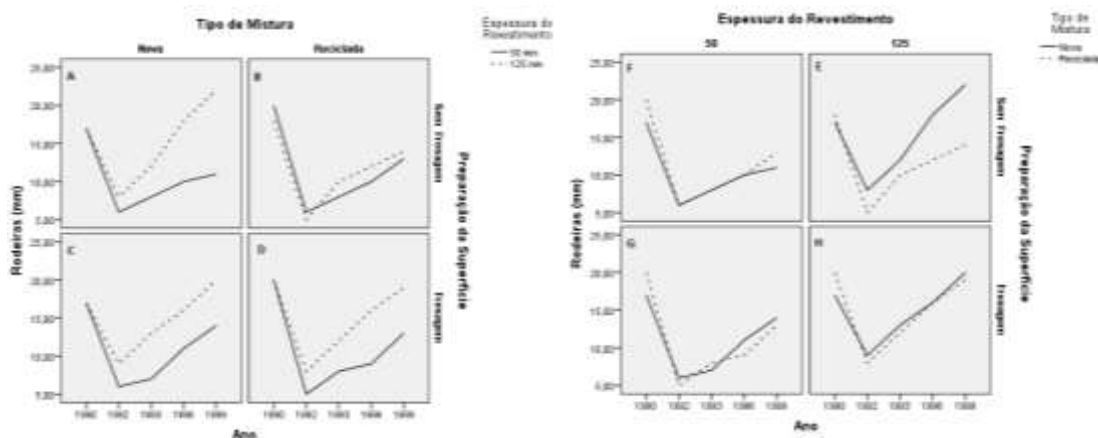


Figura 5.27 – Cavado de rodeira nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de mistura (direita)

Foram incluídos no modelo apenas os dados recolhidos a partir de 1992, uma vez que até esse ano se observou um decréscimo do cavado de rodeira impossível de explicar com base na informação disponível. Os resultados da análise de regressão apresentam-se no Apêndice V (Quadros V.13 e V.14, e Figura V.7)

A Figura 5.28 permite fazer a comparação entre os dados medidos e os valores previstos através do modelo (5.7) para as secções consideradas, verificando-se a bondade do ajuste conseguido.

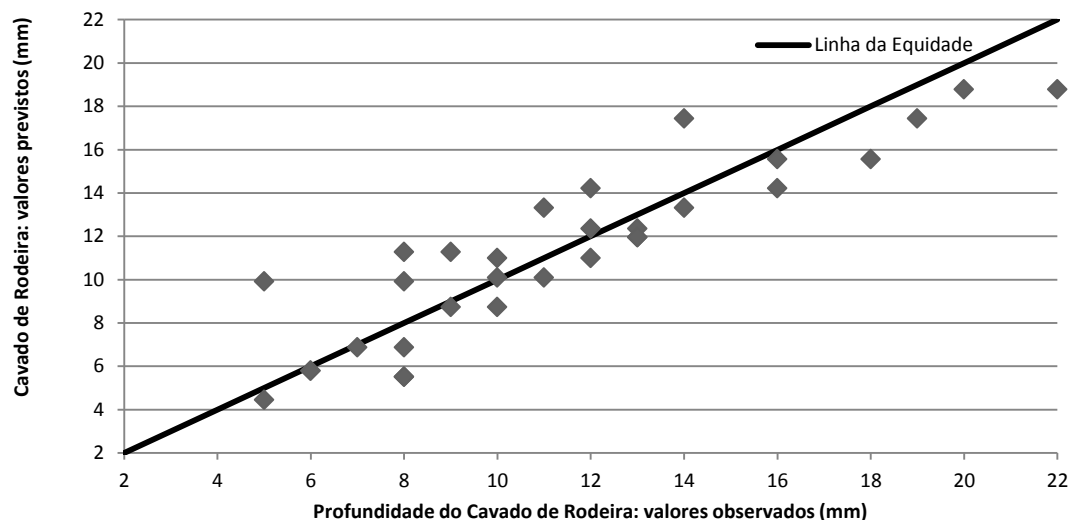


Figura 5.28 – Cavado de rodeira para o Mississippi: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo

5.5 Modelos de Previsão Considerando o Tráfego e Algumas Características dos Materiais

5.5.1 Generalidades

Após as análises efetuadas nos subcapítulos anteriores, julgou-se útil a incorporação de algumas das características dos materiais e do tráfego nos modelos de previsão. Para isso, escolheram-se dois tipos de patologias geralmente avaliados nos procedimentos de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos rodoviários, designadamente o fendilhamento por fadiga e o cavado de rodeira. Note-se que aquelas patologias são das que melhor traduzem a qualidade estrutural dos pavimentos flexíveis.

Contudo, pela análise da SDR-24, verificou-se uma considerável escassez de informação associada às características dos materiais de várias secções. Enquanto que no caso da Califórnia, por exemplo, apenas existem dados relativos a algumas secções correspondentes ao período após a ação de reabilitação de 2001, no caso do Mississippi não há qualquer informação. No que se refere ao Texas a informação disponível é suficiente para o desenvolvimento de modelos de previsão.

No que se refere ao tráfego para a Califórnia, tal como se mostrou em 4.3 e no Quadro III.1 do Anexo III, apenas há registos no período antes da ação de reabilitação, entre 1993 e 1997. De modo a ser possível, mesmo assim, proceder a uma modelação que considerasse o tráfego, admitiu-se que o tráfego não teria uma configuração muito diferente no período após a reabilitação, pelo que se utilizou a informação de tráfego do período com registo na modelação do período posterior.

Levando em linha de conta a quantidade e a coerência dos dados disponíveis, optou-se por desenvolver apenas dois modelos de previsão: um relativo ao fendilhamento por fadiga para a Califórnia e outro relativo ao cavado de rodeira para o Texas. Não foi possível desenvolver modelos de previsão do cavado de rodeira para a Califórnia com boa aderência aos registos da base de dados. No que se refere ao Texas, também não se desenvolveu um modelo para o fendilhamento por fadiga, uma vez que os registos da base de dados apresentavam uma variação pequena, o que impossibilitou o desenvolvimento do modelo.

5.5.2 Modelo de Previsão do Fendilhamento por Fadiga para a Califórnia

A porosidade, a percentagem em betume e a penetração do betume a 25°C, são algumas das características dos materiais constituintes da camada de reforço, relativas às secções presentes na base de dados, tal como se pode verificar pelo Quadro 5.1. Note-se que apenas se dispõe de propriedades dos materiais para três das nove secções da Califórnia.

Quadro 5.1– Características dos materiais nas secções existentes na Califórnia

Secção	Porosidade (%)	Percentagem em Betume (%)	Penetração a 25°C (mm)
502	3,3	4,5	5,5
504	3,4	4,4	20,5
508	3,6	4,7	14,3

Assim, à semelhança dos modelos desenvolvidos anteriormente, consideraram-se as variáveis *Espessura de Revestimento*, *Preparação da Superfície* e *Tipo de Mistura*. A variável *tempo* representada anteriormente pelo *número de anos* após a reabilitação foi substituída pela variável *Tráfego*. Incorporou-se também a *Porosidade*, a *Percentagem em Betume* e a *Penetração do Betume a 25°C* das misturas betuminosas.

No entanto, pelos valores elevados de correlação entre os pares *Preparação da Superfície/Porosidade* e *Preparação da Superfície/Percentagem em Betume*, rodeados a vermelho na Figura V.15 do Apêndice V, optou-se por retirar a variável comum dos modelos estudados, de forma a melhorar o seu ajustamento.

O modelo de previsão do Fendilhamento por Fadiga para o estado da Califórnia, introduzindo as variáveis relativas às características dos materiais e do tráfego, é traduzido pela expressão (5.8):

$$y = -102,446 \times x_1 + 0,012 \times x_2 + 112,354 \times x_3 - 3,695x_4 \quad [R^2=96,4\%] \quad (5.8)$$

Onde:

y: previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia, m²/secção;

x₁: tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x₂: tráfego, número de acumulado de eixos-padrão de 80 kN em milhares, o qual pode variar entre 2458 e 9911;

x₃: percentagem em betume, entre 4,4 e 4,7%;

x₄: espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm.

No Quadro V.16 e na Figura V.8 do Apêndice V, encontram-se os resultados da análise de regressão. Constatou-se que as variáveis *Porosidade* e *Penetração a 25°C* foram rejeitadas pelo modelo, tal como demonstra no Quadro V.17.

Os dados observados e os valores estimados pelo modelo estão na Figura 5.29.

Comparando a expressão (5.8) com a (5.5), verifica-se que a variável explicativa comum a ambas, *Tipo de Mistura*, apresenta coeficientes de sinais opostos em cada uma das expressões. Esta divergência está relacionada com a indisponibilidade de dados relativos às propriedades das misturas betuminosas para todas as secções. Por

essa razão, apenas três das nove secções da Califórnia foram incluídas, o que reduz a abrangência do modelo estatístico obtido.

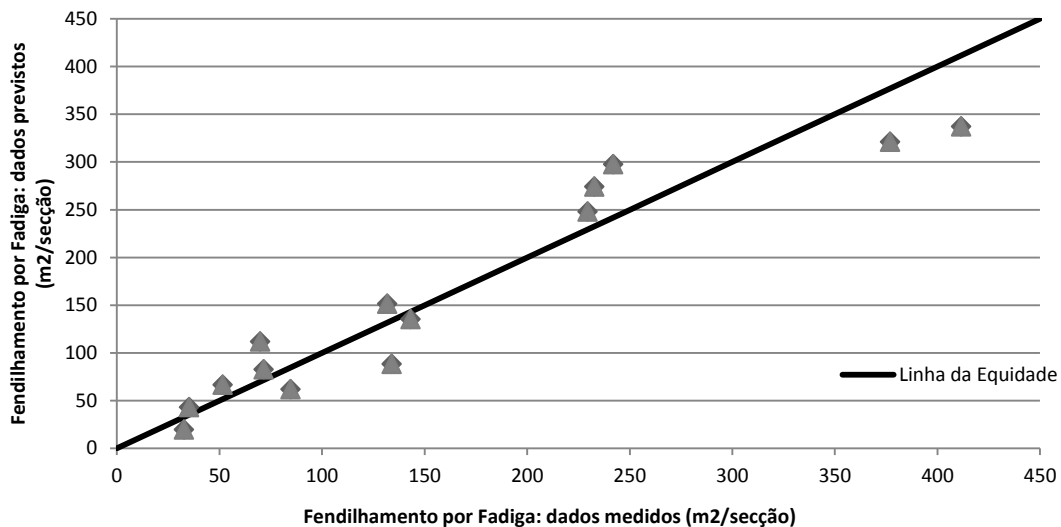


Figura 5.29 – Fendilhamento por fadiga para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo que incorpora as variáveis relativas às características dos materiais

5.5.3 Modelo de Previsão do Cavado de Rodeira para o Texas

Para o estabelecimento do modelo, usaram-se as variáveis referidas na secção 5.5.2. No Quadro 5.2 encontram-se as características dos materiais associados às secções presentes na base de dados, e no Quadro III.2 do Apêndice III os valores relativos ao carregamento do tráfego.

Quadro 5.2 – Características dos materiais nas secções existentes no estado do Texas

Secção	Porosidade (%)	Percentagem em Betume (%)	Penetração a 25°C (mm)
503	4,1	5,1	15
506	2,1	4,7	10
507	2,3	5,0	31
509	4,6	4,1	40

Dadas as elevadas correlações entre os pares *Tipo de Mistura/Porosidade* e *Espessura do Revestimento/Percentagem em Betume*, tal como se pode constatar pelos valores rodeados a vermelho no Quadro V.18 do Apêndice V, optou-se pela utilização das variáveis *Porosidade* e *Percentagem em Betume*.

Assim, o modelo de previsão do cavado de rodeira para o Texas, considerando as variáveis relativas às características dos materiais e do tráfego, é traduzido pela expressão (5.9):

$$y = 1,638 \times x_1 + 0,001 \times x_2 - 0,919 \times x_3 + 1,176 x_4 \quad [R^2=98,7\%] \quad (5.9)$$

Onde:

y : previsão da profundidade do cavado de rodeira para o Texas, mm;

x_1 : preparação da superfície, 0 para secções sem fresagem e 1 para secções fresadas;

x_2 : tráfego, número de acumulado de eixos-padrão de 80 kN em milhares, o qual pode variar entre 540 e 3029;

x_3 : porosidade, variável entre 2,1 e 4,6%;

x_4 : percentagem em betume, entre 4,1 e 5,1%.

Os resultados da análise de regressão encontram-se no Quadro V.19 e na Figura V.9 do Apêndice V. Conclui-se que a variável *Penetração a 25°C* foi rejeitada pelo modelo (significância superior a 0,05).

Na Figura 5.30 representam-se os dados observados contra os valores estimados pelo modelo.

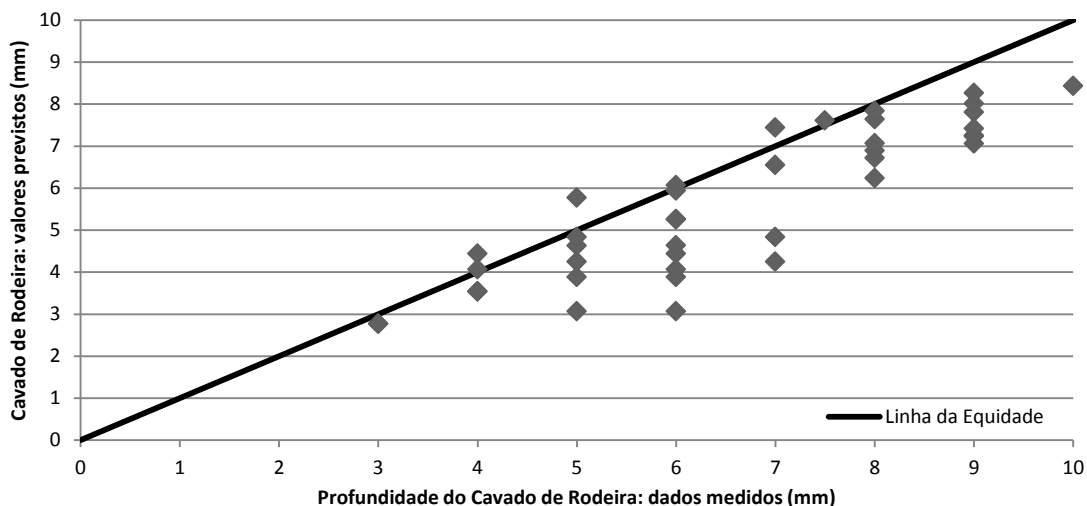


Figura 5.30 – Profundidade do cavado de rodeira para o Texas: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo que incorpora as variáveis relativas às características dos materiais

Apesar da expressão (5.9) incluir dados sobre o tráfego e as composições das misturas betuminosas, foi obtida para quatro das nove secções do Texas, o que reduz a abrangência do modelo estatístico obtido.

5.6 Discussão Geral dos Resultados

5.6.1 Análise dos resultados provenientes dos modelos de previsão

Das expressões obtidas por regressão multivariada, escolheram-se algumas cujo ajuste aos dados observados foi mais satisfatório, de modo a mostrar, de forma mais geral, a evolução das diferentes patologias em função das variáveis independentes analisadas no estudo.

Assim, para o fendilhamento longitudinal e transversal fez-se uso dos modelos obtidos para o Texas e para as rodeiras os do Mississippi. Apesar da expressão de previsão do fendilhamento por fadiga obtido para a Califórnia apresentar um ajustamento relativamente satisfatório, tratando-se de um modelo do qual foi excluída uma quantidade significativa de dados, optou-se por não o considerar na presente análise, tal como o IRI no mesmo estado.

- Fendilhamento Longitudinal

Para o modelo do Texas dado pela expressão (5.2), a variável *Espessura do Revestimento* foi rejeitada. Isso ocorreu porque os pares de secções 502/503 e 508/509 possuem aproximadamente os mesmos valores referentes àquela variável. Como tal, no gráfico mais à esquerda da Figura 5.31 (análogo ao da Figura 5.6), no qual se representam valores previstos pela expressão (5.2), não se mostram resultados para as secções não consideradas no modelo.

Embora se verifique que o andamento das curvas previstas, representado na Figura 5.31, é genericamente diferente do observado anteriormente na Figura 5.6 para os valores observados, verifica-se que as estimativas que é possível obter ao longo do tempo são uma boa medida dos valores observados.

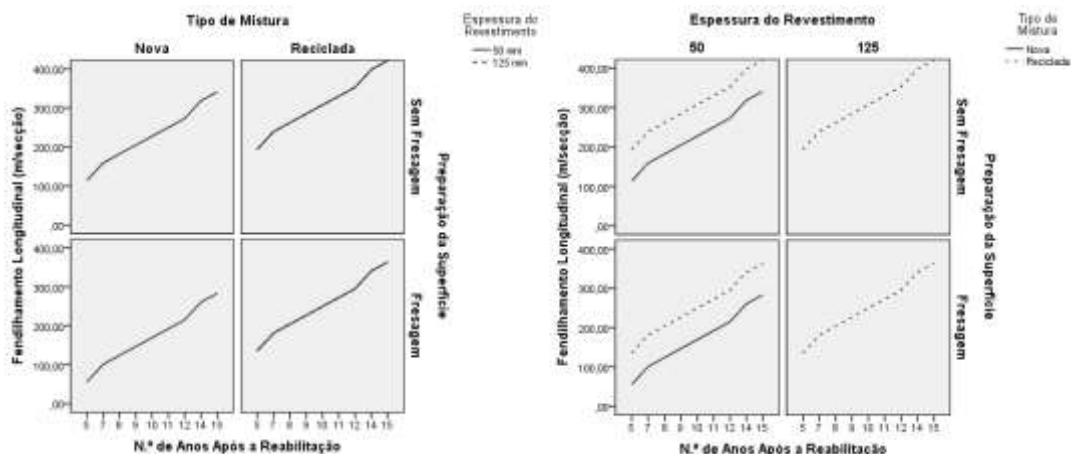


Figura 5.31 – Modelo de previsão: fendilhamento longitudinal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do revestimento (esquerda) e tipo de mistura (direita)

- Fendilhamento Transversal

Apesar do modelo de previsão para o fendilhamento transversal no Estado do Texas [expressão (5.4)] incluir todas as variáveis, as secções 504, 506 e 507 foram excluídas do modelo, por manifestarem um comportamento muito diferente das restantes, o que explica a sua ausência na Figura 5.32.

A comparação visual da Figura 5.32 [obtida com base no modelo (5.4)] com a Figura 5.12 (traçada com os valores observados), permite concluir que as estimativas obtidas ao longo do tempo são uma boa medida dos valores observados.

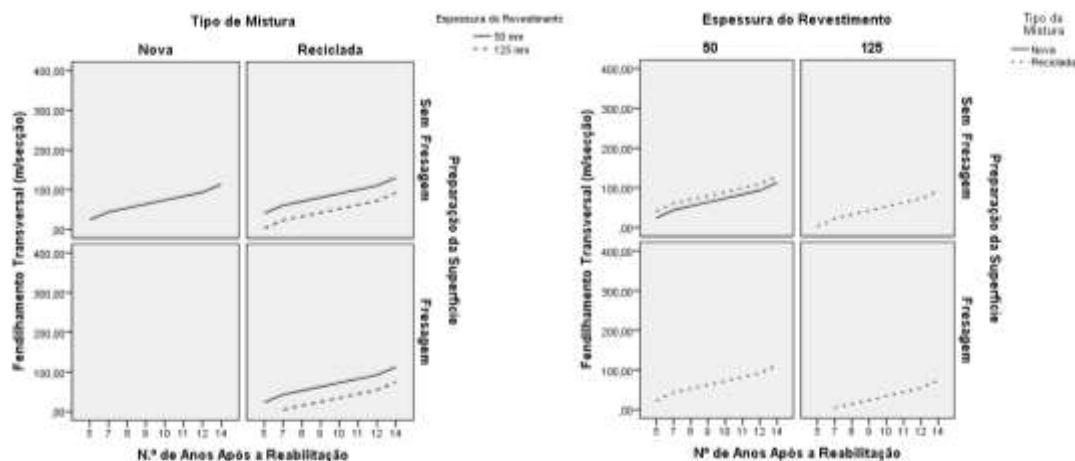


Figura 5.32 – Modelo de previsão: fendilhamento transversal nas secções consideradas para o Texas em função da espessura do reforço (esquerda) e tipo de mistura (direita)

- Rodeiras

A variável *Preparação da Superfície* foi rejeitada pelo modelo de previsão (5.7) para as rodeiras no Estado do Mississippi, não tendo sido excluída nenhuma das secções em estudo.

A Figura 5.33 representa os valores dos cavados de rodeira previstos pelo modelo, verificando-se uma boa aderência aos valores registados e indicados na Figura 5.27.

5.6.2 Influência das características de reabilitação consideradas de forma agregada

De forma evidenciar a influência, de uma forma agregada, das características das ações de reabilitação, no desenvolvimento das patologias analisadas, procedeu-se ao cálculo do valor médio da variação anual das patologias [*variação anual* = (*valor final*-*valor inicial*)/*número de anos*], para cada um dos estados considerados no estudo. Para isso, utilizaram-se as variáveis explicativas *Preparação da Superfície*, *Espessura do Revestimento* e *Tipo de Mistura*.

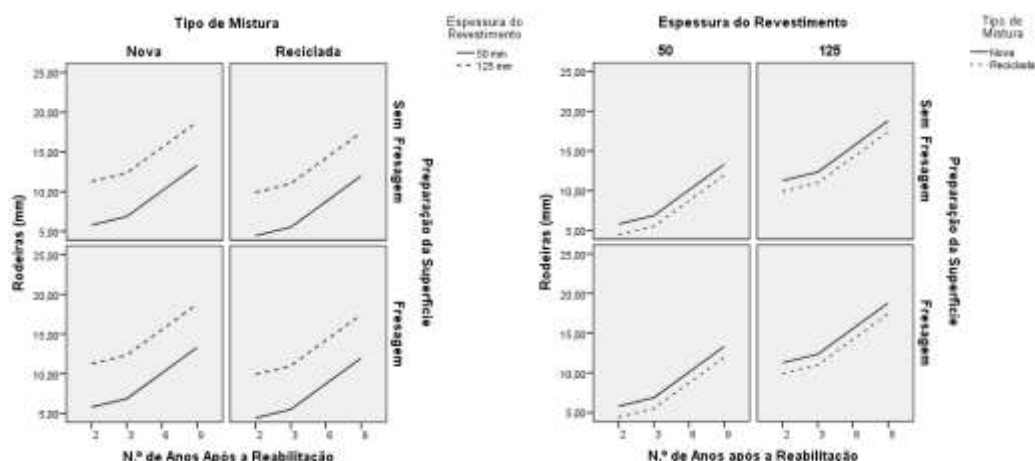


Figura 5.33 – Modelo de previsão: cavado de rodeira nas secções consideradas para o Mississippi em função da espessura do reforço (esquerda) e tipo de mistura (direita)

Optou-se por utilizar aquele indicador em detrimento do valor observado no final do período em análise, uma vez que os períodos de registo das patologias nos diferentes estados não tem a mesma duração. Com o indicador escolhido, pode dar-se uma ideia sobre a velocidade de desenvolvimento de cada patologia ao longo do tempo. Assim, presume-se que variações anuais mais elevadas traduzem um desempenho pior do pavimento, e que variações anuais mais baixas indicam um desempenho melhor.

- Fendilhamento Longitudinal

Na Figura 5.34 encontra-se o resumo dos valores médios da variação anual do fendilhamento longitudinal observado, em função das características de reabilitação das secções.

Da análise do gráfico da Figura anterior, verifica-se que a *Preparação da Superfície* por fresagem antes da execução da camada de reabilitação tende a melhorar o desempenho do pavimento relativamente ao fendilhamento longitudinal nas secções da Califórnia e do Texas. No Mississippi verifica-se a tendência contrária. O aumento da *Espessura do Revestimento* aplicado na reabilitação, de 50 para 125 mm, mostrou uma tendência benéfica apenas no caso do Texas. A aplicação de misturas betuminosas recicladas na reabilitação foi desfavorável para o desempenho dos pavimentos, no que se refere ao fendilhamento longitudinal.

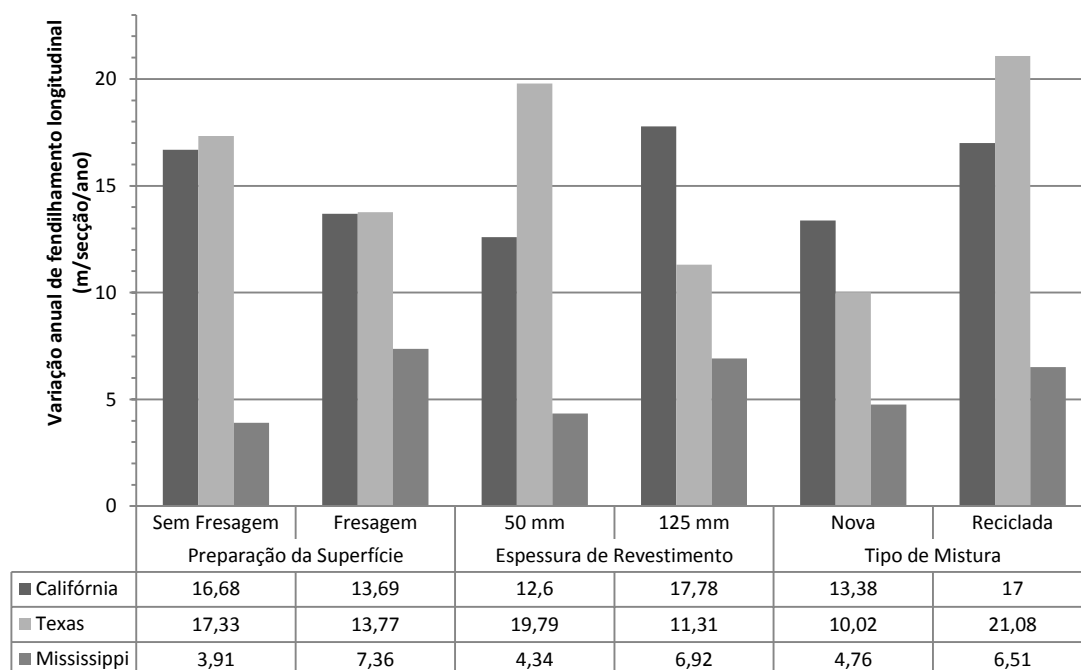


Figura 5.34 – Fendilhamento longitudinal: valor médio agregado da taxa de variação anual em função das características de reabilitação (m/secção)

- Fendilhamento Transversal

A análise da Figura 5.35 permite verificar que a *Preparação da Superfície* por fresagem reduz a velocidade de desenvolvimento do fendilhamento transversal, o mesmo acontecendo quando se utilizam misturas betuminosas novas em vez de misturas com materiais reciclados. A aplicação de camadas mais espessas mostrou ter um efeito benéfico, à exceção do caso da Califórnia, onde ocorreu o efeito contrário.

- Fendilhamento por Fadiga

Observando-se a Figura 5.36, verifica-se que as secções do Texas praticamente não apresentam fendilhamento por fadiga. Além disso, nota-se uma diminuição no desenvolvimento de fendilhamento por fadiga quando se aumenta a espessura da camada de revestimento. Acontece o mesmo quando se utilizam camadas construídas com misturas betuminosas novas em detrimento de misturas recicladas. A *Preparação da Superfície* por fresagem não contribuiu para reduzir a evolução do fendilhamento por fadiga.

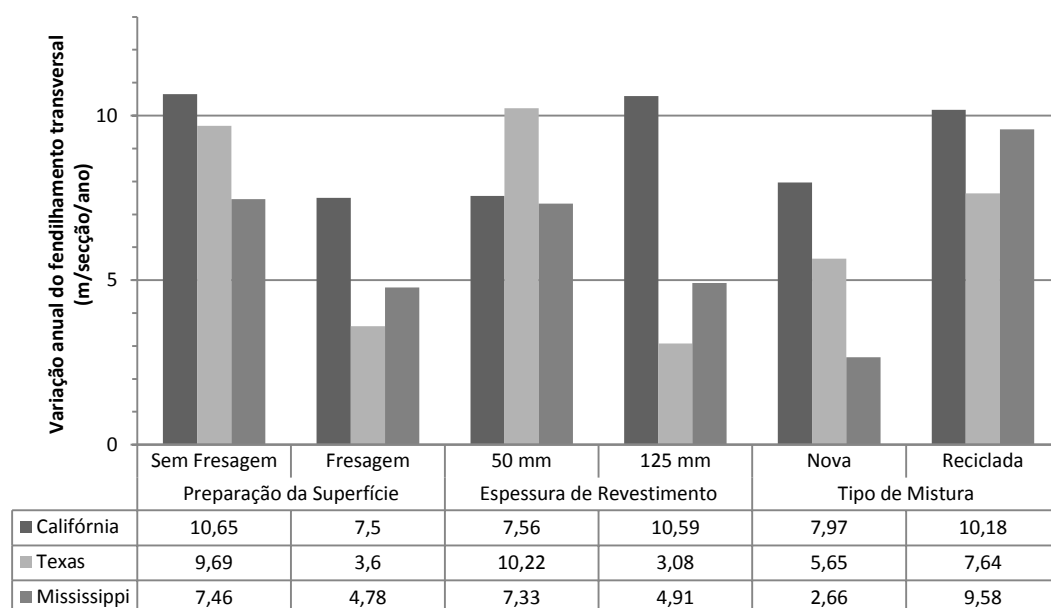


Figura 5.35 – Fendilhamento transversal: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação (m/secção)

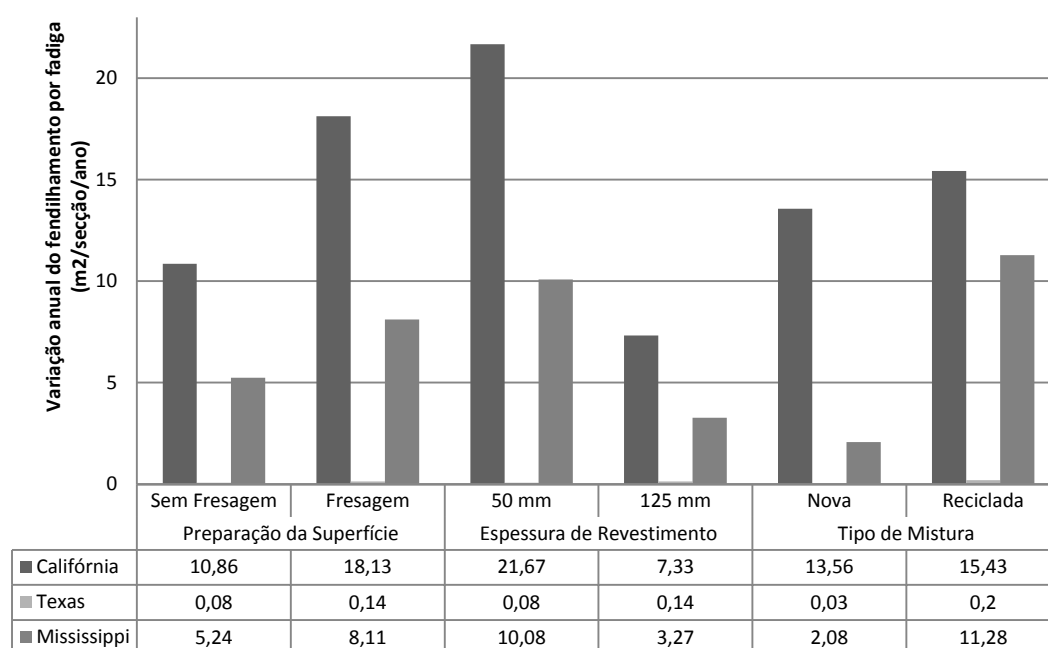


Figura 5.36 – Fendilhamento por fadiga: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação (m²/secção)

- Índice de Irregularidade Internacional

Na Figura 5.37 pode observar-se que a *Preparação da Superfície* antes da reabilitação tende a produzir uma evolução mais lenta do IRI. Esta tendência não se verifica para o Mississippi. O aumento da espessura da camada de reabilitação de 50

para 125 mm traduziu-se em uma melhoria em termos de desenvolvimento de irregularidade longitudinal. Verifica-se também alguma tendência para um aumento do IRI quando se utilizam misturas betuminosas com material reciclado, embora para as secções do Mississippi se observe o oposto.

Note-se que no cálculo da variação anual do IRI não foram considerados os registos anteriores a 1993 para a Califórnia e anteriores a 1992 para o Mississippi, uma vez que os registos indicavam decréscimo do IRI nesses períodos. Também não se incluíram no cálculo da variação anual média, os registos relativos às secções 506 e 507 do Texas uma vez que apresentam uma redução do IRI ao longo do tempo, em vários períodos.

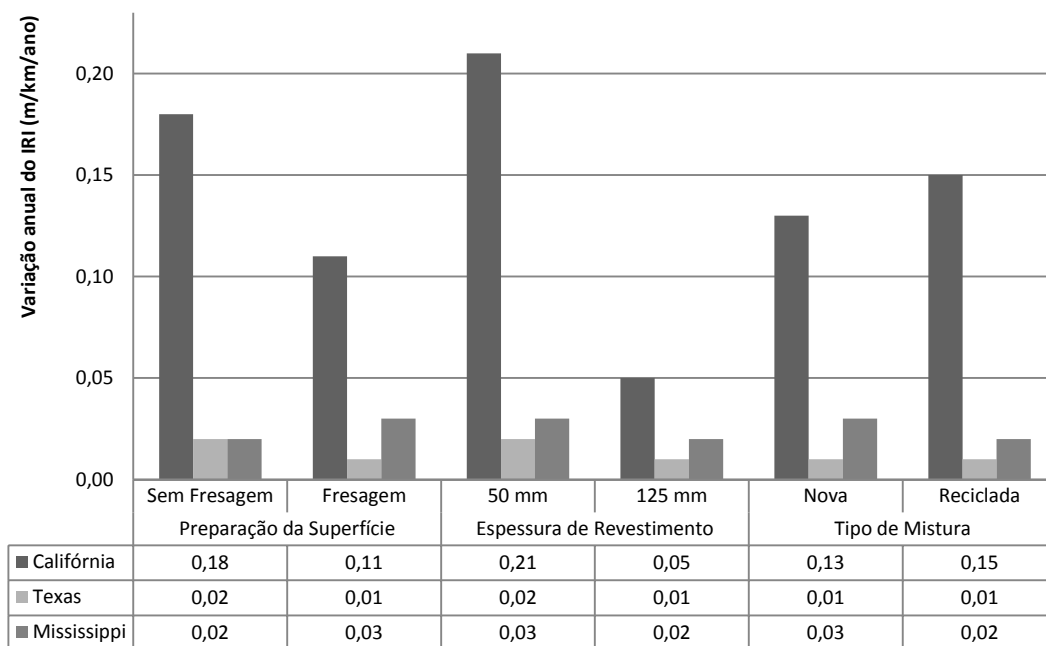


Figura 5.37 – Índice de Irregularidade Internacional: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação (m/km)

- Rodeiras

Segundo a Figura 5.38, secções reabilitadas com uma mistura contendo cerca de 30% de material reciclado, influenciam positivamente a resistência à deformação permanente. A colocação de camadas de reabilitação com maior espessura não conduziu, em geral, um aumento daquela resistência. Apenas no Texas o aumento de espessura teve uma contribuição positiva. Em relação à *Preparação da Superfície* nada se podem tirar conclusões de forma definitiva, dada a variabilidade das tendências observadas.

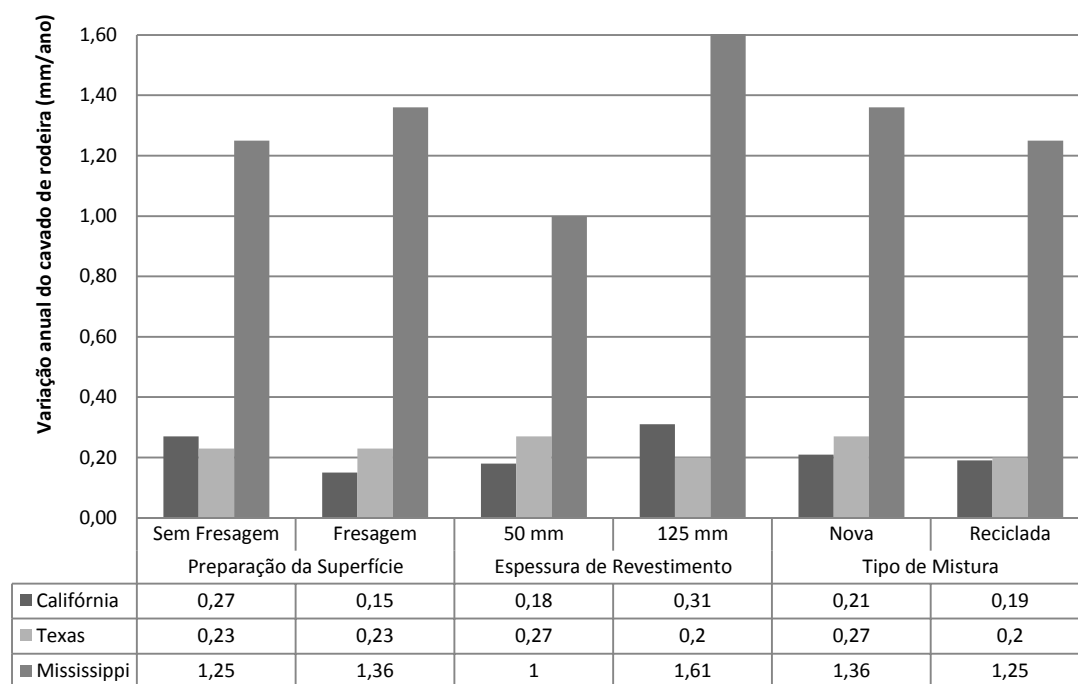


Figura 5.38 – Cavado de Rodeira: cálculo médio da taxa de variação anual das características de reabilitação (mm)

5.7 Síntese

Tendo em conta a informação presente na SDR-24 - *Standard Data Release-24*, fez-se uma análise da evolução de vários tipos de indicadores de qualidade dos pavimentos das secções analisadas, para a Califórnia, o Texas e o Mississippi. Desenvolveram-se modelos de previsão baseados em leis estatísticas, de modo a reproduzir a evolução de algumas das patologias mais frequentes nos pavimentos flexíveis. As secções em estudo foram sujeitas a atividades de reabilitação dentro de determinados parâmetros controlados, tais como a espessura do revestimento, a preparação da superfície e o tipo de mistura betuminosa aplicada na reabilitação. Apesar dos modelos constituírem o objetivo principal, analisaram-se também os dados de modo a comparar a influência de cada um daqueles parâmetros no desenvolvimento das patologias a longo prazo.

A manifesta insuficiência de informação associada a certos casos impediu o estabelecimento de alguns modelos. Além disso, a variabilidade da evolução das patologias ao longo do tempo, quer entre as diferentes secções em estudo, quer em cada uma das secções, inviabilizaram uma modelação estatística de grande qualidade para algumas das situações analisadas.

Mesmo assim, foi possível estabelecer leis estatísticas de evolução das patologias para os diferentes estados em estudo, considerando as variáveis explicativas cujos registos foram incluídos na base de dados: *Preparação da Superfície*; *Espessura do*

revestimento de reabilitação; *tipo de mistura* betuminosa utilizada na reabilitação (nova ou reciclada).

Além disso, estabeleceu-se, para a Califórnia, uma lei estatística de previsão do fendilhamento por fadiga, considerando o tráfego registado nas secções incluídas no modelo e as propriedades das misturas betuminosas da camada de reabilitação. Para a previsão do cavado de rodeira, chegou-se também a uma lei estatística, para o Mississippi, incluindo aquelas duas variáveis independentes.

Finalmente, calculou-se a variação anual de cada tipo de degradação analisado, separadamente para cada um dos estados estudados, de modo a obter uma visão global do efeito de cada uma das variáveis independentes analisadas no desempenho dos pavimentos monitorizados.

6 Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

6.1 Síntese do Trabalho e Conclusões Gerais

Com a realização desta dissertação pretendia-se contribuir para avaliar o comportamento, a longo prazo, de pavimentos flexíveis em serviço, utilizando dados coligidos na base de dados do programa LTPP americano. Este tipo de análise é útil por permitir verificar quais das soluções de reabilitação estudadas são mais eficazes para reduzir a evolução das patologias ao longo do tempo.

Quando se avalia a evolução passada das patologias dos pavimentos monitorizados, e se relaciona essa informação com as condições de solicitação e as características dos pavimentos em serviço, pode contribuir-se para melhores decisões acerca das ações de reabilitação futuras.

A avaliação do desempenho dos pavimentos flexíveis a longo prazo foi realizada através da informação existente na base de dados do programa LTPP americano, utilizando os dados de um dos seus projetos, o SPS-5 – Reabilitação de Pavimentos Flexíveis.

Inicialmente, apresentou-se um resumo da informação disponível sobre alguns LTPP existentes, de modo a mostrar através exemplos de que modo é que as administrações rodoviárias envolvidas organizam os respetivos programas de recolha e organização da informação. Verificou-se que todos os programas se baseiam nos mesmos princípios, mas o LTPP americano é o que tem os dados mais acessíveis, e o que disponibiliza informação para um período mais longo, razões que motivaram a sua seleção para o estudo apresentado nesta dissertação.

Fez-se, ainda, uma exposição resumida sobre o LTPP americano utilizado neste estudo, apresentando e descrevendo os módulos que constituem a base de dados, e os principais parâmetros nela registados. Sempre que possível, referiu-se o modo como foi extraída a informação necessária.

Os parâmetros considerados para caracterizar a evolução das degradações dos pavimentos ao longo do tempo foram os fendilhamentos longitudinal, transversal, em bloco (ou malha), por fadiga (ou pele de crocodilo), e a desagregação superficial. A classificação destas patologias é a utilizada no LTPP e segue o que está indicado no manual de inspeção de pavimentos – *Distress Identification Manual* (FHWA,

2003). Além disso, consideraram-se ainda o IRI e as rodeiras, para quantificar, respetivamente, a irregularidade longitudinal dos pavimentos (medida através do perfilómetro de alta velocidade), e a deformação permanente visível à superfície (pela régua de 1,83m).

Considerando, por um lado, a disponibilidade de dados no LTPP e, por outro, a possibilidade de fazer inferências, também para algumas regiões de Portugal, sobre o desempenho dos pavimentos monitorizados, selecionaram-se secções SPS-5 localizadas em três estados americanos para o estudo: a Califórnia, o Texas e o Mississippi. Pretendia-se que as análises efetuadas para aqueles estados pudessem ser úteis para as regiões representadas pelas cidades de Beja, Lisboa e Porto, respetivamente. Contudo, verificou-se que as características climáticas das regiões americanas consideradas não reproduziam de forma muito próxima as regiões consideradas para Portugal, embora possam julgar-se úteis algumas inferências para Portugal, no que diz respeito à evolução das patologias ao longo do tempo.

Para as secções SPS-5 do LTPP, além de dados climáticos de temperatura do ar e de precipitação, extraiu-se informação relativa ao tráfego, às estruturas dos pavimentos, às técnicas de reabilitação utilizadas e à evolução no tempo das patologias dos pavimentos.

O exame da informação extraída possibilitou a análise do desenvolvimento das degradações dos pavimentos em serviço. Numa primeira fase, e para cada um dos estados americanos incluídos no estudo, efetuou-se uma análise gráfica, de forma a destacar o efeito de três variáveis explicativas: *preparação da superfície* antes das ações de reabilitação (com e sem fresagem); *espessura do revestimento* aplicado (50 ou 125 mm); *tipo de mistura* betuminosa aplicada (mistura nova ou reciclada). Numa segunda fase, e sempre que possível, determinaram-se modelos de previsão das patologias dos pavimentos ao longo do tempo, de modo a caracterizar o comportamento, em função das mesmas variáveis independentes.

Verificou-se que as patologias nas secções do Mississippi eram tendencialmente mais desenvolvidas, o que estará relacionado com o mais elevado nível de tráfego registado entre os três estados. As secções da Califórnia evidenciaram um nível intermédio de degradação. Por sua vez, no estado do Texas observou-se o melhor desempenho dos pavimentos, dentre os três estados, sendo também a situação para a qual a base de dados dispunha de informação em maior quantidade.

Para dois dos mecanismos de degradação mais importantes dos pavimentos, o fendilhamento por fadiga e a formação de rodeiras, foi possível estabelecer, para a Califórnia e para o Texas, respetivamente, modelos estatísticos de evolução das patologias associadas, considerando o tráfego solicitante (em vez do tempo) e as propriedades de composição das misturas betuminosas, incluindo também as três variáveis explicativas consideradas nas restantes análises estatísticas efetuadas. A

incorporação dos dados do tráfego e dos materiais constituintes das camadas de reforço nos modelos, constitui geralmente uma modelação estatística mais útil para a antecipação da evolução das patologias consideradas nos modelos. Contudo, os dados do LTPP, caracterizadores das misturas betuminosas nos casos estudados, cobriam apenas algumas secções da Califórnia e do Texas, reduzindo a abrangência dos modelos que foi possível obter.

A análise agregada dos dados da evolução das patologias, efetuada para cada um dos estados, permitiu obter as conclusões que se apresentam no Quadro 6.1, relativamente à contribuição de cada uma das variáveis explicativas estudadas para o desempenho dos pavimentos. As tendências que se resumem no Quadro 6.1, permitem extrair as conclusões que se descrevem nos parágrafos seguintes.

Quadro 6.1 – Resumo do desempenho das secções SPS-5 nos estados estudados

Tipo de Degradação	Estado	Fresagem antes da reabilitação	Aumento da espessura da camada construída	Camada com mistura betuminosa reciclada
Fendilhamento Longitudinal	Califórnia	+	-	-
	Texas	+	+	-
	Mississippi	-	-	-
Fendilhamento Transversal	Califórnia	+	-	-
	Texas	+	+	-
	Mississippi	+	+	-
Fendilhamento por Fadiga	Califórnia	-	+	-
	Texas	-	-	-
	Mississippi	-	+	-
Irregularidade	Califórnia	-	+	-
	Texas	+	+	+
	Mississippi	-	+	+
Rodeiras	Califórnia	+	-	+
	Texas	-	+	+
	Mississippi	-	-	+

(+): contribuição favorável para o desempenho do pavimento em relação ao tipo de degradação assinalado

(-): contribuição desfavorável para o desempenho do pavimento em relação ao tipo de degradação assinalado

- Influência da fresagem antes da execução da camada de reabilitação:

- Assinalável efeito favorável da fresagem no desempenho dos pavimentos relativamente ao fendilhamento longitudinal e transversal, embora no Mississippi a tendência tenha sido a contrária. A fresagem prévia, paticamente não contribuiu para melhorar o desempenho no que se refere ao fendilhamento por fadiga, à irregularidade e à formação de rodeiras.

- Influência do aumento da espessura da camada de reabilitação:

- O aumento da espessura de 50 para 125 mm mostrou uma tendência para melhorar o desempenho dos pavimentos. O efeito favorável é mais evidente em relação à irregularidade, notando-se também uma influência positiva do aumento da espessura relativamente à resistência ao fendilhamento transversal e por fadiga, em dois dos três estados analisados.

- Influência da aplicação de mistura betuminosa reciclada na camada de reabilitação:

- A utilização de misturas betuminosas recicladas foi favorável para o desempenho dos pavimentos, apenas no que se refere à irregularidade dos pavimentos, e à resistência à formação de rodeiras.

Embora para algumas das situações analisadas não existam dados com qualidade e/ou na quantidade pretendida, pode concluir-se que a implementação do LTPP é uma ferramenta de apoio útil, a qual pode dar boas indicações sobre a evolução do estado dos pavimentos a longo prazo e, assim, servir de apoio às políticas de gestão da conservação dos pavimentos da rede rodoviária, e orientar a escolha dos materiais e das técnicas a utilizar na conservação e reabilitação de pavimentos.

6.2 Prosseguimento de Trabalhos Futuros

Nos modelos estatísticos desenvolvidos, não foram considerados parâmetros para caracterizar a ação da temperatura e da precipitação. Julga-se que a inclusão de parâmetros climáticos nas expressões de previsão poderá contribuir para explicar melhor a evolução do estado dos pavimentos. Para isso, será necessária uma análise agregada de dados, englobando vários estados, com características climáticas diferenciadas, de modo a ser possível captar o efeito da localização.

A inclusão na base de dados do LTPP de uma gama mais extensa de propriedades das misturas betuminosas aplicadas, permitiria uma avaliação mais fundamentada da evolução do estado dos pavimentos. Tendo em consideração outros estudos referidos na bibliografia, por exemplo o realizado por Bennert et al. (Bennert et al., 2013), presume-se que exista informação com dados do controlo de qualidade da construção de várias secções ainda não registada na base de dados. Essa informação deveria ser incluída sistematicamente na base de dados do LTPP, de modo a possibilitar análises semelhantes às efetuadas por aqueles autores.

Tendo em consideração a existência de outros projetos no âmbito do LTPP, designadamente os que consideram o acompanhamento de estruturas de pavimentos de base aglutinada, ou os que estudam técnicas alternativas de reabilitação com

geogrelhas, por exemplo, seria útil efetuar um estudo semelhante ao que se realizou nesta dissertação para aqueles ou outros tipos de pavimentos existentes na rede americana.

6.3 Considerações Finais

Não obstante as diferenças climáticas evidenciadas entre os estados americanos considerados no estudo e as regiões de Portugal, e a existência de algumas dificuldades associadas à coerência e disponibilidade de informação na base de dados, pode afirmar-se que foram atingidos os objetivos propostos inicialmente.

A comparação da influência das ações de reabilitação aplicadas nas secções dos diferentes estados, mostrou quais as que mais influenciaram o desempenho das secções em teste. Note-se que a existência de mais informação, para além de possibilitar um maior número de modelos de previsão, melhoraria o ajustamento dos existentes, traduzindo-se numa explicação mais precisa da evolução do estado dos pavimentos.

O benefício associado à exploração dos dados recolhidos e armazenados no âmbito de LTPP depende, em larga medida, da quantidade e da coerência dos dados existentes na sua base de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRB GROUP (2013 a).

LTPP Study in Australia. <http://www.arrb.com.au/ltp/Default.asp>. Austroads, Austrália (consultado em setembro de 2013).

ARRB GROUP (2013 b).

Walking Profilometer. <http://www.arrb.com.au/Equipment-services/Walking-Profiler-G2.aspx>, Austrália (consultado em setembro de 2013).

Baptista, A. (1999). *Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Flexíveis: Aplicabilidade em Portugal dos Métodos Existentes*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Bennert, T., Maher, A. (2013). *Forensic Study on the Cracking Distress of New Jersey's LTPP SPS-5 Sections – 30% RAP vs Virgin Hot Mix Asphalt (HMA)*. Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos da América.

Branco, F., Pereira, P., Santos, L. P. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. Edições Almedina, Coimbra.

Capitão, S. (2012). *Apontamentos das aulas de Conservação de Vias de Comunicação*. Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

FHWA (2003). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.

FHWA (2006 a). *Rehabilitation of Asphalt Concrete Pavements: Initial Evaluation of the SPS-5- Experiment - Final Report*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.

FHWA (2006 b). *Verification of Long-Term Pavement Performance Virtual Weather Stations: Phase I Report – Accuracy and Reliability of Virtual Weather Stations*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.

- FHWA (2009). *Long-Term Pavement Performance Information Management System: Pavement Performance Database User Reference Guide*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- FHWA (2010). *LTPP Standard Data Release, versão 24*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- FHWA (2013 a).
- <http://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/programs/infrastructure/pavements/ltppl>, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América (consultado em agosto de 2013).
- FHWA (2013 b). Classificação dos veículos.
- http://www.fhwa.dot.gov/environment/air_quality/conformity/research/improving_data/taqs03.cfm, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América (consultado em agosto de 2013).
- FHWA (2013 c).
- <http://www.infopave.com/>. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Estados Unidos da América.
- Freitas, E. (2004). Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Comportamento dos Pavimentos Rodoviários Flexíveis – Fendilhamento com Origem na Superfície. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.
- Henning, T. (2008). *The Development of Pavement Deterioration Models on the State Highway Network of New Zealand*. Tese de Doutorado, Universidade de Auckland, Nova Zelândia.
- Henning, T.F.P., Dunn, R.C.M., Costello, S.B., Hart, G., Parkman, C.C., Burgess, G. (2004). *Long-Term Pavement Performance (LTPP) Studies in New Zealand – Lessons, the Challenges and the Way Ahead*. 6th Conference on Managing Pavements, Brisbane, Australia.
- Hong, F., Chen, D., Mikhail, M. M. (2010). *Long-Term Performance Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Based on Texas LTPP SPS5 Sections*. Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos da América.
- International Cybernetics (2013).
- https://www.intlcybernetics.com/3d_surface_measurement.html. 3D Pavement Imaging Estados Unidos da América (consultado em outubro de 2013).

IPMA (2013).

<https://www.ipma.pt/pt/>. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Portugal (consultada em agosto de 2013).

NZTA (2007).

<http://www.nzta.govt.nz/resources/longterm-pavement-performance/docs/ltpb-brochure-2007.pdf>. New Zealand Transport Agency, Nova Zelândia (consultado em setembro de 2013).

Pereira, P., Miranda, C. (1999). *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Universidade do Minho, Braga.

Picado-Santos, L. (1988). *Modelo Matemático para a determinação da Distribuição de Temperatura em Pavimentos Rodoviários*. Tese das Provas de aptidão Científica e Pedagógica, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Picado-Santos, L. (1995). *Consideração da Temperatura no Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Svensson, M. (2013). *Modeling Pavement Performance Based on Data From the Swedish LTPP Database – Predicting Cracking and Rutting*. Tese de Licenciatura, KTH, Royal Institute of Technology, School of Architecture and the Built Environment, Estocolmo, Suécia.

VTI (2010). *Monitoring of Long Term Pavement Performance (LTPP) – Progress Report*. Suécia.

VTI (2013). *Road Surface Tester*.

<http://www.vti.se/en/vti-offers/on-road-measurement/measurement-of-profile/road-surface-tester-rst/>, Suécia (consultado em setembro de 2013).

West, R. (2009). *Performance Studies of Asphalt Pavements with Greater than 25% RAP*. National Center of Asphalt Technology, Carolina do Norte, Estados Unidos da América.

West, R., Michael, J., Turochy, R., Maghsoodloo, S. (2010). *A comparison of Virgin and Recycled Asphalt Pavements Using Long-Term Pavement Performance SPS-5 Data*. Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, Estados Unidos da América.

APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE I. Meteorologia

Quadro I. 1— Temperaturas mínimas e máximas mensais do ar (°C) entre abril e outubro de 2003 a 2006, e precipitação média anual no mesmo período (mm)

	Temp. ar (°C)	Califórnia		Arizona		Novo México		Texas		Mississippi		Braga		Porto		Lisboa		Beja	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
2003	Abril	8,8	22,5	9,3	29,1	4,1	24,6	10,7	24,9	10,9	24,4	9	19	11	19	11	19	9	19
	Maio	15,4	31,8	15,8	36,2	9,8	31,6	17,5	29,1	16,4	27,4	11	23	11	21	13	23	11	27
	Junho	20,3	37,9	19,6	40,7	14,9	34,6	19,8	30,9	19	29,6	15	27	15	25	17	27	15	31
	Julho	25	41,6	25,9	43	18,8	37,2	22,2	34,9	20,9	31,4	15	25	15	23	17	27	15	35
	Agosto	23,1	39,3	25,6	40,6	18,8	34,6	22,4	36,1	20,9	32,1	17	29	17	27	19	29	19	35
	Setembro	20,2	37,3	21,4	38,8	15	32,5	16,9	29,2	16,4	28,4	15	27	15	25	17	27	15	31
	Outubro	15,4	32,3	16,1	35,3	9,9	28,2	12,5	27	10	24,1	9	19	11	19	13	21	13	23
	Precip. (mm)	108,8		150,1		189,1		723,6		1543,2		> 1401		> 1401		800 a 1001		< 600	
2004	Abril	11,7	27	12	30	5,8	22,8	11,8	24,1	8,9	22,9	6,5	19,5	7,5	18,5	10	20,5	7,5	21
	Maio	15,7	32,3	15,9	36,7	10,8	30,4	17,6	27,8	16,4	27,1	10,5	23	11,5	23	12,5	23	10,5	25
	Junho	20	37,6	19,5	40,7	14,8	34,2	20,9	30,8	20	29,2	15,5	27	15,5	25	17,5	27	16,5	35,5
	Julho	22,9	40,4	24,2	41,6	17,9	34,9	21,7	32,6	20,6	30,7	14,5	27	15,5	25	18,5	29	16,5	32
	Agosto	22	38,8	23	39,9	16,4	31,9	20,9	32,2	18	30,4	14,5	27	15,5	25	18	27	16,5	32
	Setembro	17,9	34,6	19,4	37,5	12,5	28,7	17,8	32,2	16,6	29,4	13,5	25,5	14,5	25,5	16	26,5	15,5	31
	Outubro	11,9	25,9	12,3	30,3	7,9	23,8	16	27,5	15,4	26,4	11,5	19,5	12,5	19,5	14	22,5	12,5	23,5
	Precip. (mm)	183,5		233,6		385,4		1126,1		1520,7		901 a 1000		901 a 1000		401 a 500		< 401	
2005	Abril	7,8	24,9	10	31	4,3	24,4	10,7	24,2	9,6	23,7	8,5	18,5	9,5	18,5	11	19,5	9,5	21
	Maio	14,6	32,1	16	36,3	10,7	30,7	15,9	27,8	13,3	25,9	10,5	22	11,5	20	13	24	12,5	27
	Junho	17,7	35,3	20,6	40,4	14,8	35	21,9	33,8	18,8	30	14,5	27	15,5	25	17,5	29	16,5	32
	Julho	24	41,3	25,1	43,5	18,6	36,2	22,3	34,6	21,8	31,6	15,5	28	16,5	26	17	28	16,5	33
	Agosto	22,3	39,2	24,1	40,1	17,2	32,7	22,6	36,2	21,4	33,1	15,5	29	16,5	27	18	31	17,5	34
	Setembro	15,5	33,5	20,4	39,1	14,3	32,1	20,4	35,4	18,6	31,6	12,5	25	13,5	25	16	27	14,5	30
	Outubro	12	27,2	14,5	32,6	7,9	25	11,7	26,7	8,8	24,7	11,5	22	12,5	22	14	22	13,5	24
	Precip. (mm)	167,8		226,8		255,9		686,9		1604		801 a 900		701 a 800		401 a 500		< 401	
2006	Abril	8,8	24,8	11	30,3	6,6	26,6	15,1	27,3	13,2	26,4	8	19	10	19	10	19	10	21
	Maio	16,3	33,7	16,7	37,7	12	31,5	17,3	29,7	14,9	28,1	11	22	12	21	13	24	12	27
	Junho	21,6	39	23,2	42,5	17,2	35,7	20,7	34,1	18	32,6	15	24	16	22	16	24	15	30
	Julho	25,1	41,7	27,4	41,8	19,3	34,1	23,1	36,1	20,6	33,9	14	28	16	26	18	28	16	34
	Agosto	20,9	39,2	24,8	39,8	17,1	29,9	24	37,8	21,5	34,8	14	28	16	26	18	28	16	34
	Setembro	17,3	34,8	19,6	36,3	11,6	27	17,6	31,3	15,1	29,3	12	24	14	22	16	26	16	30
	Outubro	10,8	26,3	13	31,8	5,7	23,8	11,9	26,6	9,1	24,6	13	20	14	20	16	22	14	24
	Precip. (mm)	27,5		167,8		385,3		878,7		1458		1400		1200		1000		600	

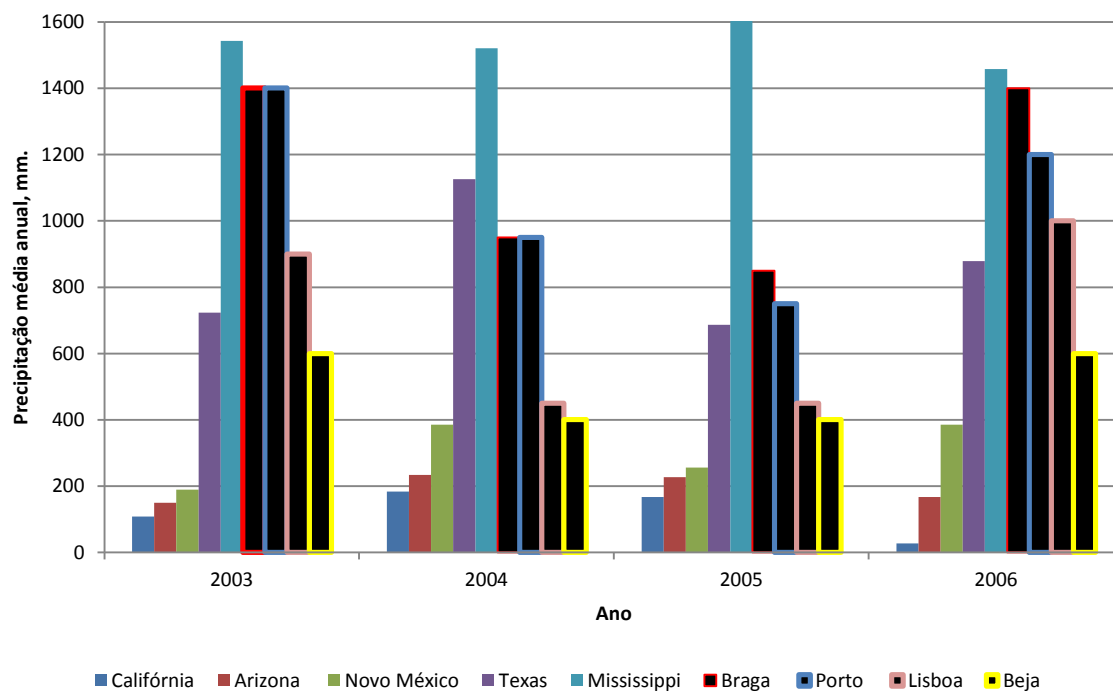


Figura I. 1 – Precipitação média anual (mm) entre 2003 e 2006.

Quadro I. 2– Estações Meteorológicas que fornecem informação à base de dados do LTPP

	Estação Meteorológica
Califórnia	Barstow Fire Station Daggett FCWOS Victorville Pump Plant
Arizona	Casa Grande Eloy 4 NE Maricopa Phoenix Airport Sacaton
Novo México	Columbus Gage 4 ESSE Hachita Lordsburg 4 SE White Signal
Texas	Bardwell Dam Dallas FAA AP Ferris Kaufman 3 SE Wills Point
Mississippi	Canton Jackson WSFO Airport Lexington 2 NNW Pickens Yazoo City 5 NNE

APÊNDICE II. Temperatura – Método Proposto por Picado-Santos

II.1 Caso A: Califórnia e Beja

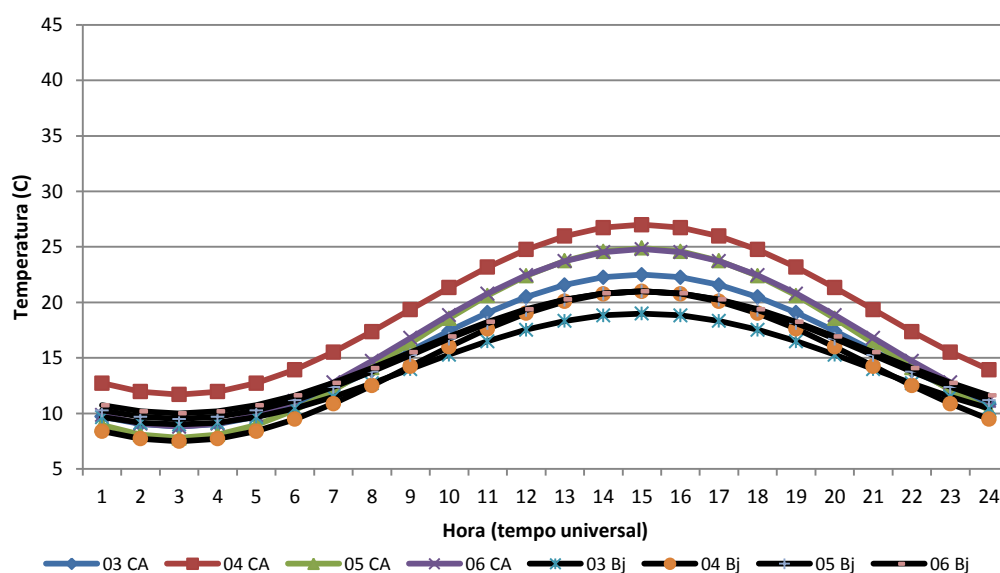


Figura II. 1– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para a Califórnia e Beja

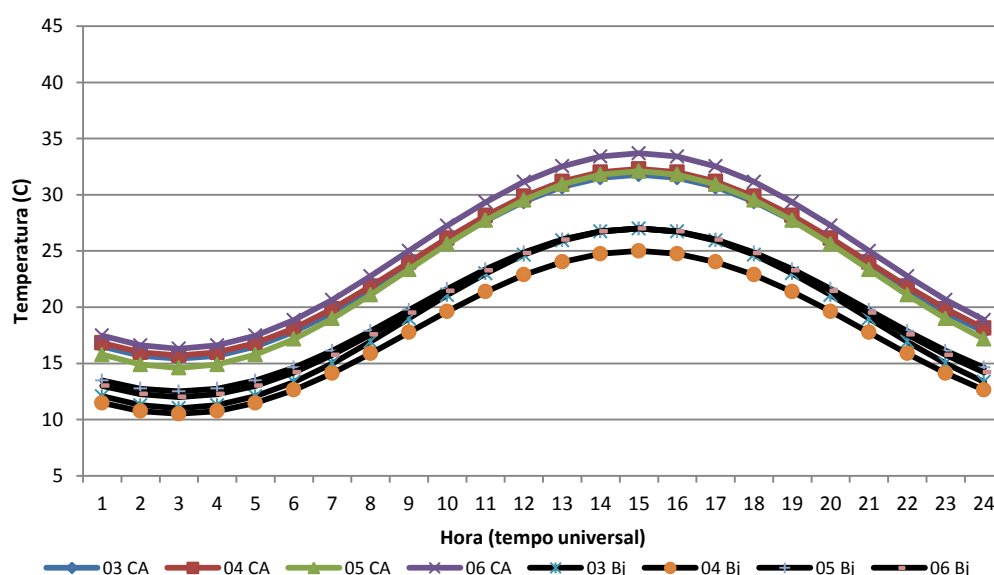


Figura II. 2 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para a Califórnia e Beja

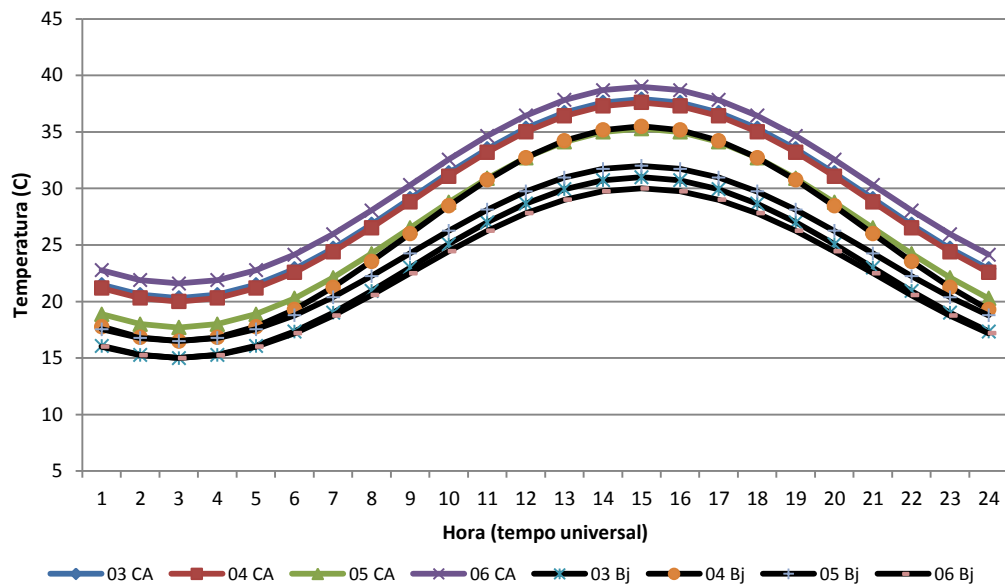


Figura II. 3 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para a Califórnia e Beja

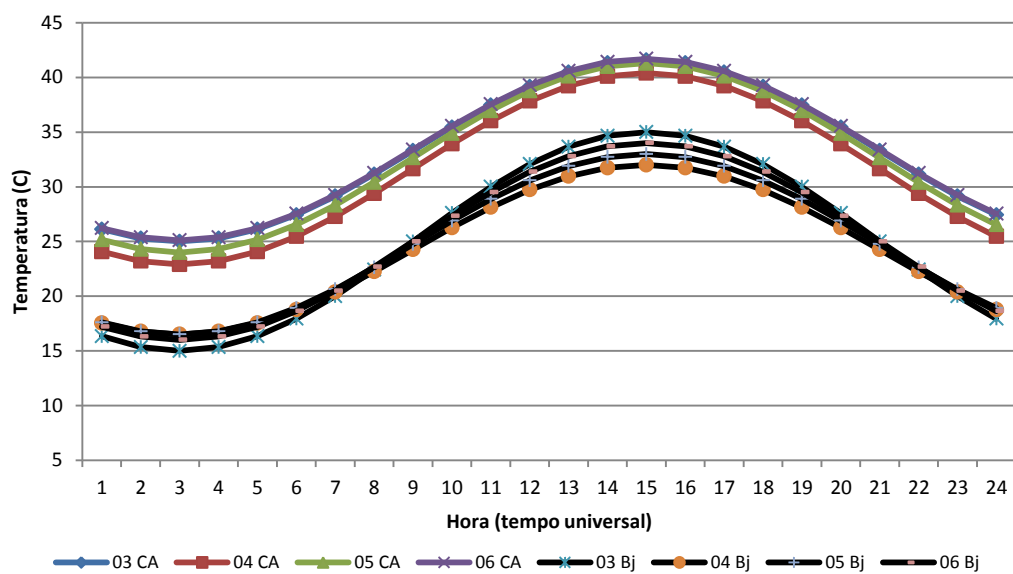


Figura II. 4 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para a Califórnia e Beja

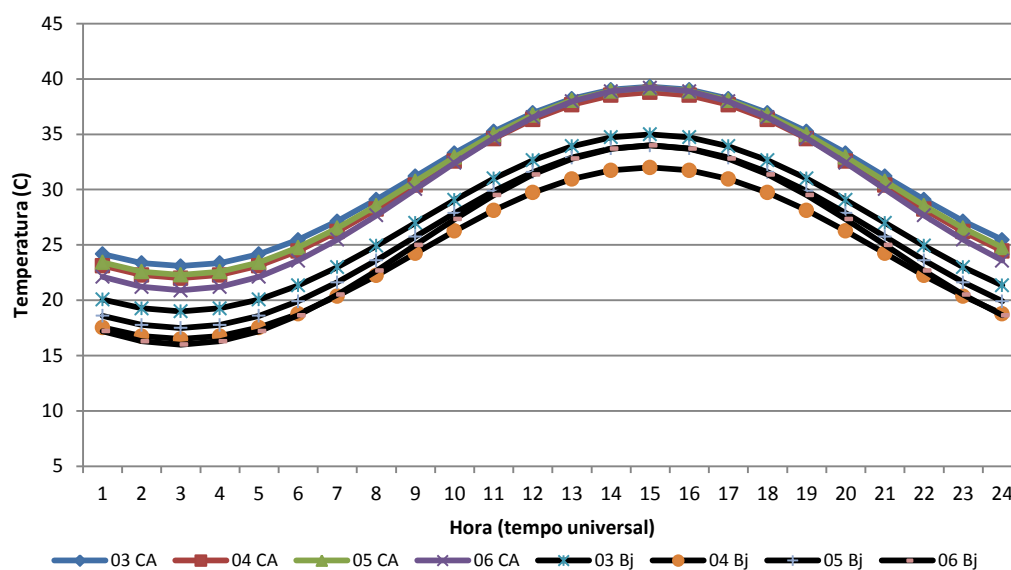


Figura II. 5 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para a Califórnia e Beja

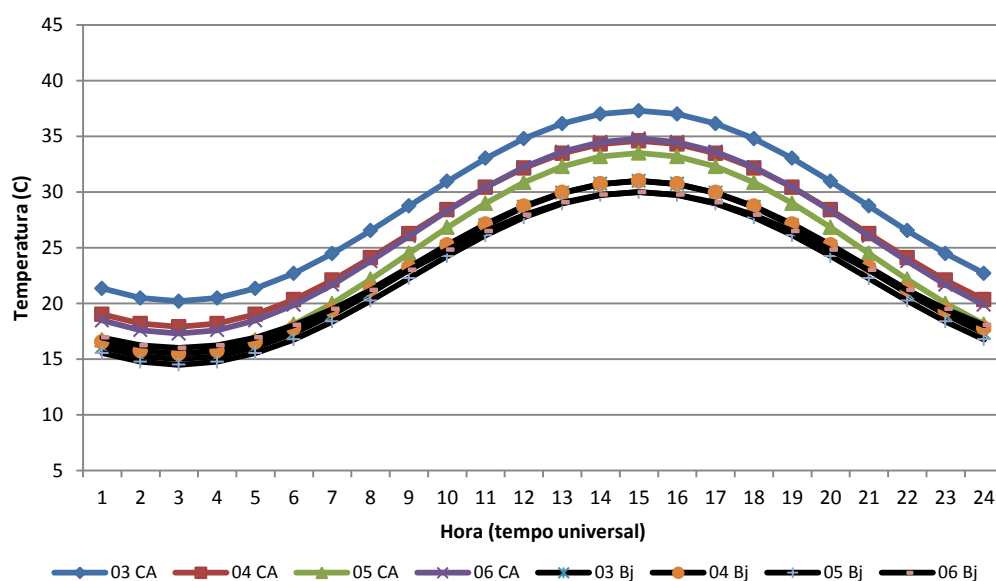


Figura II. 6 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para a Califórnia e Beja

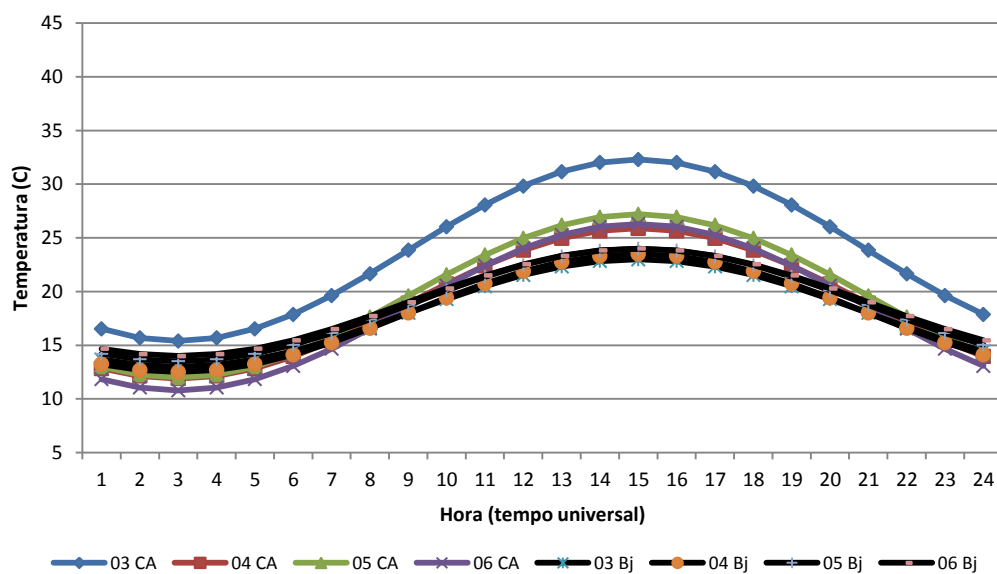


Figura II. 7 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de outubro para a Califórnia e Beja

Quadro II. 1 - Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e outubro de 2003 a 2006, Califórnia e Beja

			α_1	0,93	0,98	1,00	0,98	0,93	0,85	0,75	0,63	0,50	0,37	0,20	0,15	0,07	0,02	0,00	0,02	0,07	0,15	0,25	0,37	0,50	0,63	0,75	0,85		
			Ano	Tmin (°C)	Tmax (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ABRIL	Califórnia	03	8,8	22,5	9,72	9,03	8,80	9,03	9,72	10,81	12,23	13,88	15,65	17,42	19,08	20,49	21,58	22,27	22,50	22,27	21,58	20,49	19,08	17,42	15,65	13,88	12,23	10,81	
		04	11,7	27,0	12,72	11,96	11,70	11,96	12,72	13,94	15,53	17,37	19,35	21,33	23,18	24,76	25,98	26,74	27,00	26,74	25,98	24,76	23,18	21,33	19,35	17,37	15,53	13,94	
		05	7,8	24,9	8,95	8,09	7,80	8,09	8,95	10,30	12,08	14,14	16,35	18,56	20,63	22,40	23,75	24,61	24,90	24,61	23,75	22,40	20,63	18,56	16,35	14,14	12,08	10,30	
		06	8,8	24,8	9,87	9,07	8,80	9,07	9,87	11,14	12,80	14,73	16,80	18,87	20,80	22,46	23,73	24,53	24,80	24,53	23,73	22,46	20,80	18,87	16,80	14,73	12,80	11,14	
	Beja	03	9,0	19,0	9,67	9,17	9,00	9,17	9,67	10,46	11,50	12,71	14,00	15,29	16,50	17,54	18,33	18,83	19,00	18,83	18,33	17,54	16,50	15,29	14,00	12,71	11,50	10,46	
		04	7,5	21,0	8,40	7,73	7,50	7,73	8,40	9,48	10,88	12,50	14,25	16,00	17,63	19,02	20,10	20,77	21,00	20,77	20,10	19,02	17,63	16,00	14,25	12,50	10,88	9,48	
		05	9,5	21,0	10,27	9,70	9,50	9,70	10,27	11,18	12,38	13,76	15,25	16,74	18,13	19,32	20,23	20,80	21,00	20,80	20,23	19,32	18,13	16,74	15,25	13,76	12,38	11,18	
		06	10,0	21,0	10,74	10,19	10,00	10,19	10,74	11,61	12,75	14,08	15,50	16,92	18,25	19,39	20,26	20,81	21,00	20,81	20,26	19,39	18,25	16,92	15,50	14,08	12,75	11,61	
MAIO	Califórnia	03	15,4	31,8	16,50	15,68	15,40	15,68	16,50	17,80	19,50	21,48	23,60	25,72	27,70	29,40	30,70	31,52	31,80	31,52	30,70	29,40	27,70	25,72	23,60	21,48	19,50	17,80	
		04	15,7	32,3	16,81	15,98	15,70	15,98	16,81	18,13	19,85	21,85	24,00	26,15	28,15	29,87	31,19	32,02	32,30	32,02	31,19	29,87	28,15	26,15	24,00	21,85	19,85	18,13	
		05	14,6	32,1	15,77	14,90	14,60	14,90	15,77	17,16	18,98	21,09	23,35	25,61	27,73	29,54	30,93	31,80	32,10	31,80	30,93	29,54	27,73	25,61	23,35	21,09	18,98	17,16	
		06	16,3	33,7	17,47	16,60	16,30	16,60	17,47	18,85	20,65	22,75	25,00	27,25	29,35	31,15	32,53	33,40	33,70	33,40	32,53	31,15	29,35	27,25	25,00	22,75	20,65	18,85	
	Beja	03	11,0	27,0	12,07	11,27	11,00	11,27	12,07	13,34	15,00	16,93	19,00	21,07	23,00	24,66	25,93	26,73	27,00	26,73	25,93	24,66	23,00	21,07	19,00	16,93	15,00	13,34	
		04	10,5	25,0	11,47	10,75	10,50	10,75	11,47	12,62	14,13	15,87	17,75	19,63	21,38	22,88	24,03	24,75	25,00	24,75	24,03	22,88	21,38	19,63	17,75	15,87	14,13	12,62	
		05	12,5	27,0	13,47	12,75	12,50	12,75	13,47	14,62	16,13	17,87	19,75	21,63	23,38	24,88	26,03	26,75	27,00	26,75	26,03	24,88	23,38	21,63	19,75	17,87	16,13	14,62	
		06	12,0	27,0	13,00	12,26	12,00	12,26	13,00	14,20	15,75	17,56	19,50	21,44	23,25	24,80	26,00	26,74	27,00	26,74	26,00	24,80	23,25	21,44	19,50	17,56	15,75	14,20	
JUNHO	Califórnia	03	20,3	37,9	21,48	20,60	20,30	20,60	21,48	22,88	24,70	26,82	29,10	31,38	33,50	35,32	36,72	37,60	37,90	37,60	36,72	35,32	33,50	31,38	29,10	26,82	24,70	22,88	
		04	20,0	37,6	21,18	20,30	20,00	20,30	21,18	22,58	24,40	26,52	28,80	31,08	33,20	35,02	36,42	37,30	37,60	37,30	36,42	35,02	33,20	31,08	28,80	26,52	24,40	22,58	
		05	17,7	35,3	18,88	18,00	17,70	18,00	18,88	20,28	22,10	24,22	26,50	28,78	30,90	32,72	34,12	35,00	35,30	35,00	34,12	32,72	30,90	28,78	26,50	24,22	22,10	20,28	
		06	21,6	39,0	22,77	21,90	21,60	21,90	22,77	24,15	25,95	28,05	30,30	32,55	34,65	36,45	37,83	38,70	39,00	38,70	37,83	36,45	34,65	32,55	30,30	28,05	25,95	24,15	
	Beja	03	15,0	31,0	16,07	15,27	15,00	15,27	16,07	17,34	19,00	20,93	23,00	25,07	27,00	28,66	29,93	30,73	31,00	30,73	29,93	28,66	27,00	25,07	23,00	20,93	19,00	17,34	
		04	16,5	35,5	17,77	16,82	16,50	16,82	17,77	19,28	21,25	23,54	26,00	28,46	30,75	32,72	34,23	35,18	35,50	35,18	34,23	32,72	30,75	28,46	26,00	23,54	21,25	19,28	
		05	16,5	32,0	17,54	16,76	16,50	16,76	17,54	18,77	20,38	22,24	24,25	26,26	28,13	29,73	30,96	31,74	32,00	31,74	30,96	29,73	28,13	26,26	24,25	22,24	20,38	18,77	
		06	15,0	30,0	16,00	15,26	15,00	15,26	16,00	17,20	18,75	20,56	22,50	24,44	26,25	27,80	29,00	29,74	30,00	29,74	29,00	27,80	26,25	24,44	22,50	20,56	18,75	17,20	
JULHO	Califórnia	03	25,0	41,6	26,11	25,28	25,00	25,28	26,11	27,43	29,15	31,15	33,30	35,45	37,45	39,17	40,49	41,32	41,60	41,32	40,49	39,17	37,45	35,45	33,30	31,15	29,15	27,43	
		04	22,9	40,4	24,07	23,20	22,90	23,20	24,07	25,46	27,28	29,39	31,65	33,91	36,03	37,84	39,23	40,10	40,40	40,10	39,23	37,84	36,03	33,91	31,65	29,39	27,28	25,46	
		05	24,0	41,3	25,16	24,29	24,00	24,29	25,16	26,53	28,33	30,41	32,65	34,89	36,98	38,77	40,14	41,01	41,30	41,01	40,14	38,77	36,98	34,89	32,65	30,41	28,33	26,53	

TEMPERATURA – MÉTODO PROPOSTO POR PICADO SANTOS

AGOSTO	Beja	06	25,1	41,7	26,21	25,38	25,10	25,38	26,21	27,53	29,25	31,25	33,40	35,55	37,55	39,27	40,59	41,42	41,70	41,42	40,59	39,27	37,55	35,55	33,40	31,25	29,25	27,53
		03	15,0	35,0	16,34	15,34	15,00	15,34	16,34	17,93	20,00	22,41	25,00	27,59	30,00	32,07	33,66	34,66	35,00	34,66	33,66	32,07	30,00	27,59	25,00	22,41	20,00	17,93
		04	16,5	32,0	17,54	16,76	16,50	16,76	17,54	18,77	20,38	22,24	24,25	26,26	28,13	29,73	30,96	31,74	32,00	31,74	30,96	29,73	28,13	26,26	24,25	22,24	20,38	18,77
		05	16,5	33,0	17,61	16,78	16,50	16,78	17,61	18,92	20,63	22,61	24,75	26,89	28,88	30,58	31,89	32,72	33,00	32,72	31,89	30,58	28,88	26,89	24,75	22,61	20,63	18,92
		06	16,0	34,0	17,21	16,31	16,00	16,31	17,21	18,64	20,50	22,67	25,00	27,33	29,50	31,36	32,79	33,69	34,00	33,69	32,79	31,36	29,50	27,33	25,00	22,67	20,50	18,64
	Califórnia	03	23,1	39,3	24,19	23,38	23,10	23,38	24,19	25,47	27,15	29,10	31,20	33,30	35,25	36,93	38,21	39,02	39,30	39,02	38,21	36,93	35,25	33,30	31,20	29,10	27,15	25,47
		04	22,0	38,8	23,13	22,29	22,00	22,29	23,13	24,46	26,20	28,23	30,40	32,57	34,60	36,34	37,67	38,51	38,80	38,51	37,67	36,34	34,60	32,57	30,40	28,23	26,20	24,46
		05	22,3	39,2	23,43	22,59	22,30	22,59	23,43	24,77	26,53	28,56	30,75	32,94	34,98	36,73	38,07	38,91	39,20	38,91	38,07	36,73	34,98	32,94	30,75	28,56	26,53	24,77
		06	20,9	39,2	22,13	21,21	20,90	21,21	22,13	23,58	25,48	27,68	30,05	32,42	34,63	36,52	37,97	38,89	39,20	38,89	37,97	36,52	34,63	32,42	30,05	27,68	25,48	23,58
	Beja	03	19,0	35,0	20,07	19,27	19,00	19,27	20,07	21,34	23,00	24,93	27,00	29,07	31,00	32,66	33,93	34,73	35,00	34,73	33,93	32,66	31,00	29,07	27,00	24,93	23,00	21,34
		04	16,5	32,0	17,54	16,76	16,50	16,76	17,54	18,77	20,38	22,24	24,25	26,26	28,13	29,73	30,96	31,74	32,00	31,74	30,96	29,73	28,13	26,26	24,25	22,24	20,38	18,77
		05	17,5	34,0	18,61	17,78	17,50	17,78	18,61	19,92	21,63	23,61	25,75	27,89	29,88	31,58	32,89	33,72	34,00	33,72	32,89	31,58	29,88	27,89	25,75	23,61	21,63	19,92
		06	16,0	34,0	17,21	16,31	16,00	16,31	17,21	18,64	20,50	22,67	25,00	27,33	29,50	31,36	32,79	33,69	34,00	33,69	32,79	31,36	29,50	27,33	25,00	22,67	20,50	18,64
	Califórnia	03	20,2	37,3	21,35	20,49	20,20	20,49	21,35	22,70	24,48	26,54	28,75	30,96	33,03	34,80	36,15	37,01	37,30	37,01	36,15	34,80	33,03	30,96	28,75	26,54	24,48	22,70
		04	17,9	34,6	19,02	18,18	17,90	18,18	19,02	20,35	22,08	24,09	26,25	28,41	30,43	32,15	33,48	34,32	34,60	34,32	33,48	32,15	30,43	28,41	26,25	24,09	22,08	20,35
		05	15,5	33,5	16,71	15,81	15,50	15,81	16,71	18,14	20,00	22,17	24,50	26,83	29,00	30,86	32,29	33,19	33,50	33,19	32,29	30,86	29,00	26,83	24,50	22,17	20,00	18,14
		06	17,3	34,8	18,47	17,60	17,30	17,60	18,47	19,86	21,68	23,79	26,05	28,31	30,43	32,24	33,63	34,50	34,80	34,50	33,63	32,24	30,43	28,31	26,05	23,79	21,68	19,86
	Beja	03	15,0	31,0	16,07	15,27	15,00	15,27	16,07	17,34	19,00	20,93	23,00	25,07	27,00	28,66	29,93	30,73	31,00	30,73	29,93	28,66	27,00	25,07	23,00	20,93	19,00	17,34
		04	15,5	31,0	16,54	15,76	15,50	15,76	16,54	17,77	19,38	21,24	23,25	25,26	27,13	28,73	29,96	30,74	31,00	30,74	29,96	28,73	27,13	25,26	23,25	21,24	19,38	17,77
		05	14,5	30,0	15,54	14,76	14,50	14,76	15,54	16,77	18,38	20,24	22,25	24,26	26,13	27,73	28,96	29,74	30,00	29,74	28,96	27,73	26,13	24,26	22,25	20,24	18,38	16,77
		06	16,0	30,0	16,94	16,24	16,00	16,24	16,94	18,05	19,50	21,19	23,00	24,81	26,50	27,95	29,06	29,76	30,00	29,76	29,06	27,95	26,50	24,81	23,00	21,19	19,50	18,05
	Califórnia	03	15,4	32,3	16,53	15,69	15,40	15,69	16,53	17,87	19,63	21,66	23,85	26,04	28,08	29,83	31,17	32,01	32,30	32,01	31,17	29,83	28,08	26,04	23,85	21,66	19,63	17,87
		04	11,9	25,9	12,84	12,14	11,90	12,14	12,84	13,95	15,40	17,09	18,90	20,71	22,40	23,85	24,96	25,66	25,90	25,66	24,96	23,85	22,40	20,71	18,90	17,09	15,40	13,95
		05	12,0	27,2	13,02	12,26	12,00	12,26	13,02	14,23	15,80	17,63	19,60	21,57	23,40	24,97	26,18	26,94	27,20	26,94	26,18	24,97	23,40	21,57	19,60	17,63	15,80	14,23
		06	10,8	26,3	11,84	11,06	10,80	11,06	11,84	13,07	14,68	16,54	18,55	20,56	22,43	24,03	25,26	26,04	26,30	26,04	25,26	24,03	22,43	20,56	18,55	16,54	14,68	13,07
	Beja	03	13,0	23,0	13,67	13,17	13,00	13,17	13,67	14,46	15,50	16,71	18,00	19,29	20,50	21,54	22,33	22,83	23,00	22,83	22,33	21,54	20,50	19,29	18,00	16,71	15,50	14,46
		04	12,5	23,5	13,24	12,69	12,50	12,69	13,24	14,11	15,25	16,58	18,00	19,42	20,75	21,89	22,76	23,31	23,50	23,31	22,76	21,89	20,75	19,42	18,00	16,58	15,25	14,11
		05	13,5	24,0	14,20	13,68	13,50	13,68	14,20	15,04	16,13	17,39	18,75	20,11	21,38	22,46	23,30	23,82	24,00	23,82	23,30	22,46	21,38	20,11	18,75	17,39	16,13	15,04
		06	14,0	24,0	14,67	14,17	14,00	14,17	14,67	15,46	16,50	17,71	19,00	20,29	21,50	22,54	23,33	23,83	24,00	23,83	23,33	22,54	21,50	20,29	19,00	17,71	16,50	15,46

II.2 Caso B: Texas e Lisboa

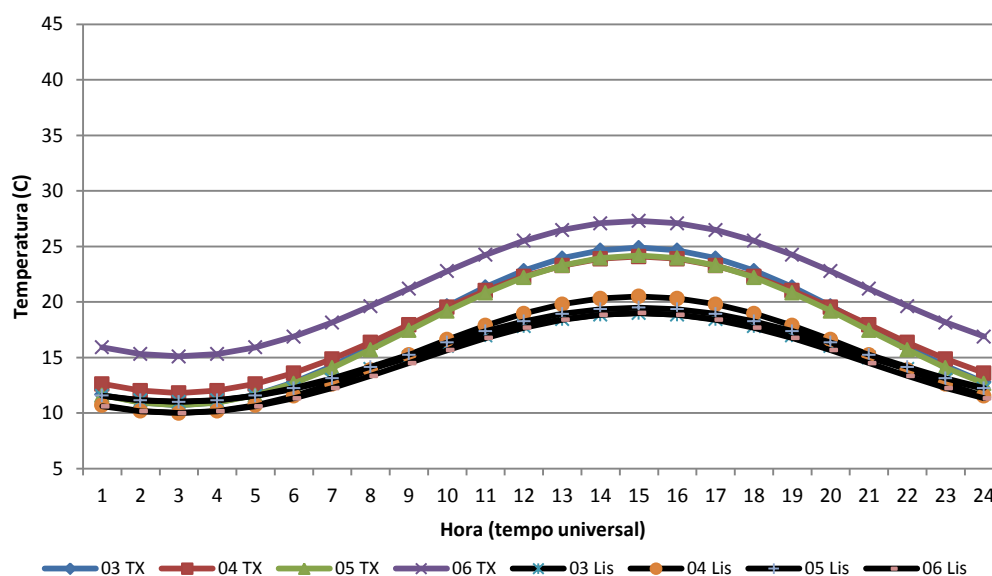


Figura II. 8 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para o Texas e Lisboa

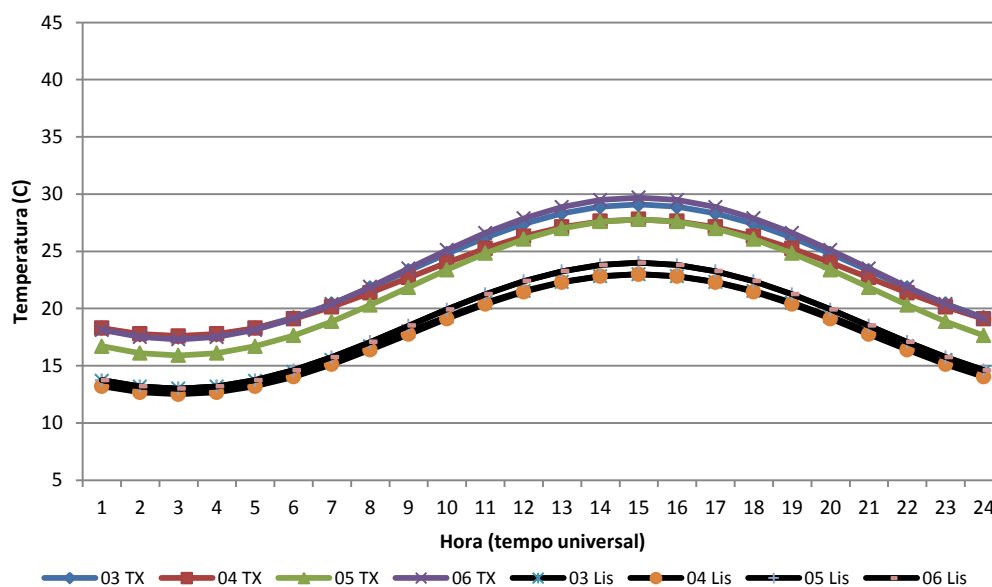


Figura II. 9– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para o Texas e Lisboa

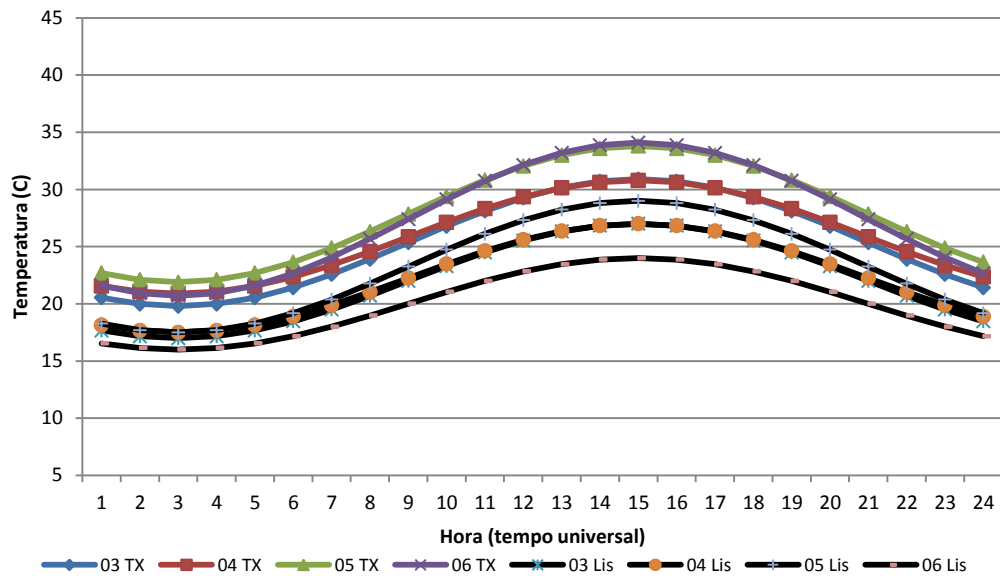


Figura II. 10– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para o Texas e Lisboa

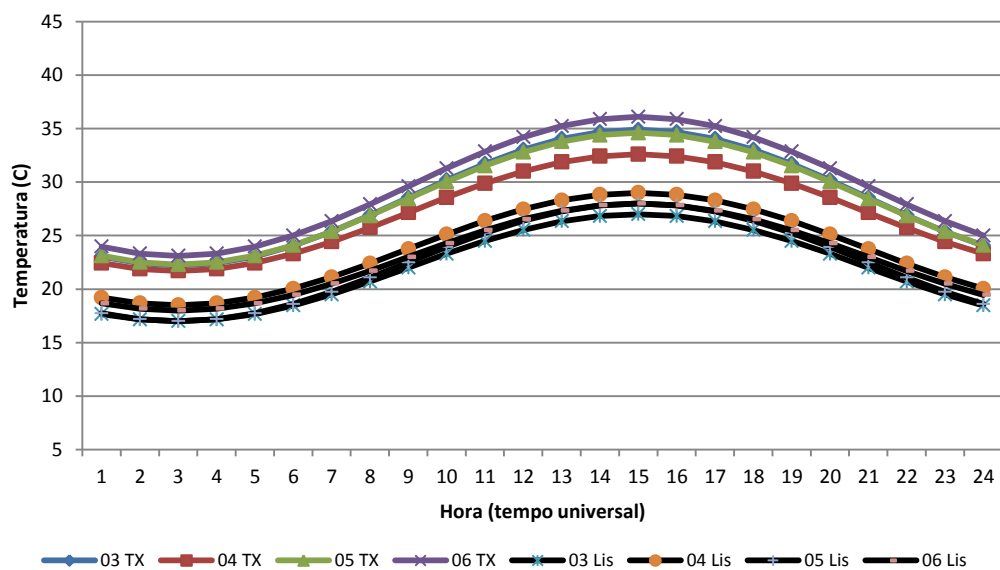


Figura II. 11 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para o Texas e Lisboa

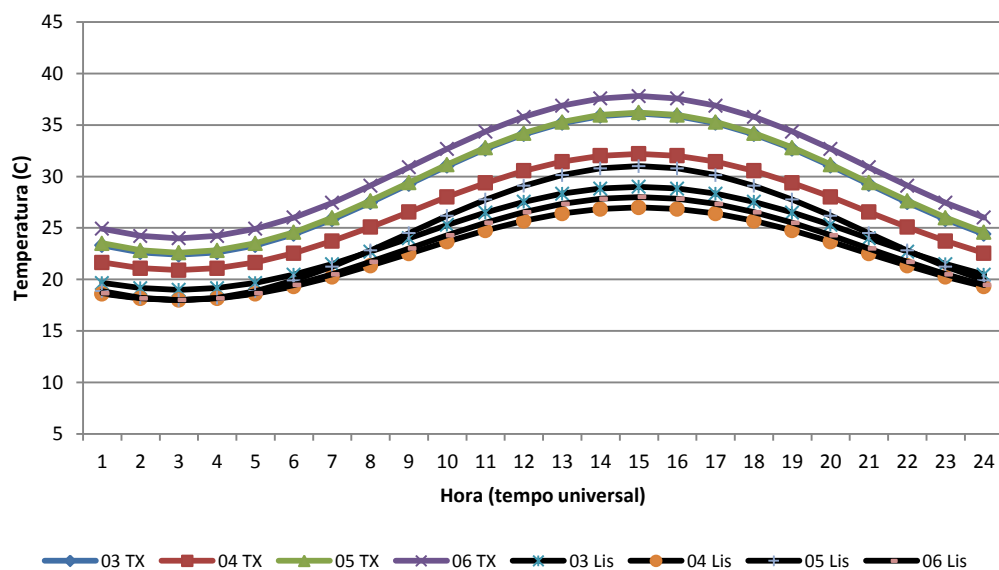


Figura II. 12 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para o Texas e Lisboa

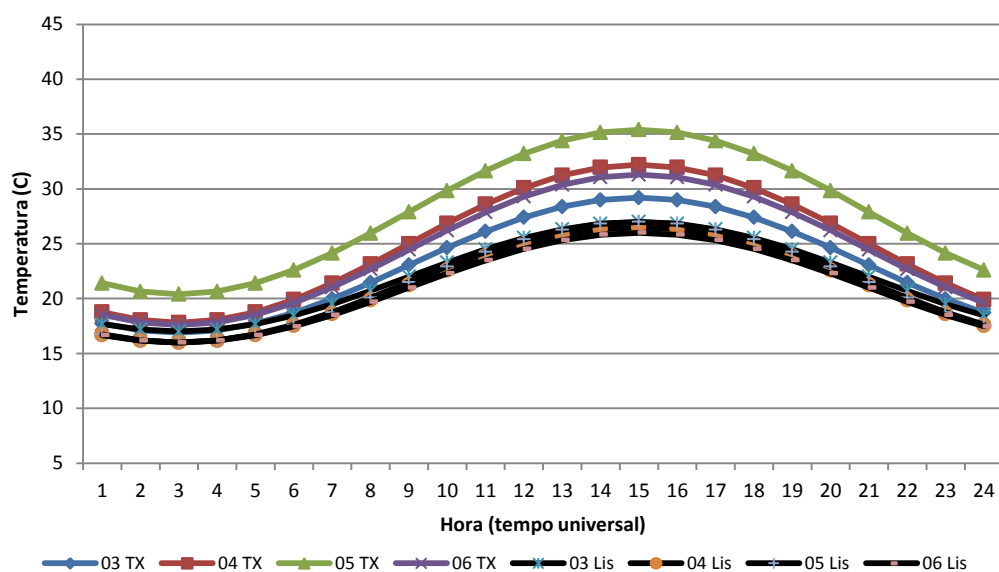


Figura II. 13 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Texas e Lisboa

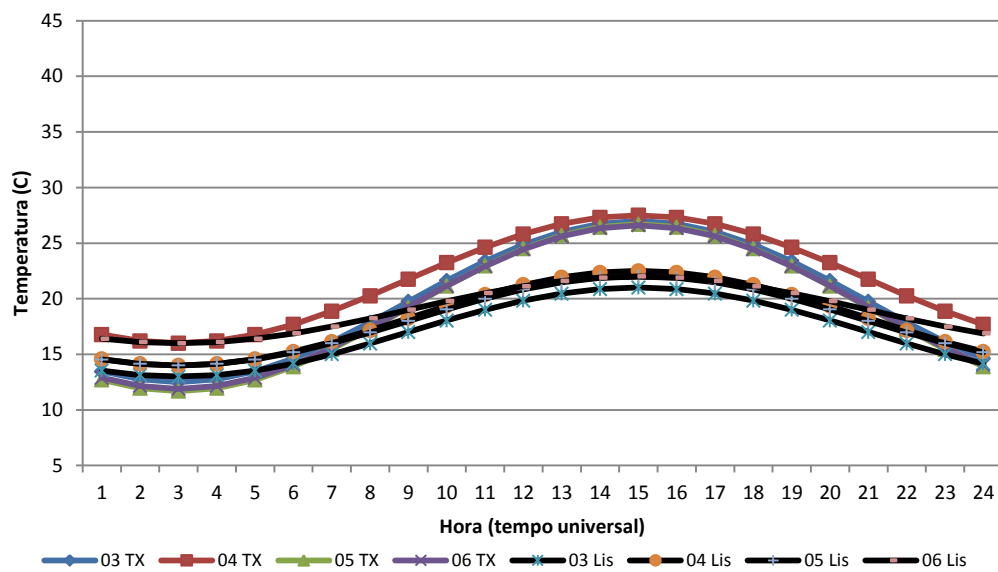


Figura II. 14 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Texas e Lisboa

Quadro II. 2 – Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e outubro de 2003 a 2006, Texas e Lisboa

					α_1	0,93	0,98	1,00	0,98	0,93	0,85	0,75	0,63	0,50	0,37	0,25	0,15	0,07	0,02	0,00	0,02	0,07	0,15	0,25	0,37	0,50	0,63	0,75	0,85		
					Ano	Tmin (°C)	Tmax (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	ABRIL	Texas	03	10,7	24,9	11,65	10,94	10,70	10,94	11,65	12,78	14,25	15,96	17,80	19,64	21,35	22,82	23,95	24,66	24,90	24,66	23,95	22,82	21,35	19,64	17,80	15,96	14,25	12,78		
			04	11,8	24,1	12,62	12,01	11,80	12,01	12,62	13,60	14,88	16,36	17,95	19,54	21,03	22,30	23,28	23,89	24,10	23,89	23,28	22,30	21,03	19,54	17,95	16,36	14,88	13,60		
			05	10,7	24,2	11,60	10,93	10,70	10,93	11,60	12,68	14,08	15,70	17,45	19,20	20,83	22,22	23,30	23,97	24,20	23,97	23,30	22,22	20,83	19,20	17,45	15,70	14,08	12,68		
			06	15,1	27,3	15,92	15,31	15,10	15,31	15,92	16,89	18,15	19,62	21,20	22,78	24,25	25,51	26,48	27,09	27,30	27,09	26,48	25,51	24,25	22,78	21,20	19,62	18,15	16,89		
	Lisboa	03	11,0	19,0	11,54	11,14	11,00	11,14	11,54	12,17	13,00	13,96	15,00	16,04	17,00	17,83	18,46	18,86	19,00	18,86	18,46	17,83	17,00	16,04	15,00	13,96	13,00	12,17			
		04	10,0	20,5	10,70	10,18	10,00	10,18	10,70	11,54	12,63	13,89	15,25	16,61	17,88	18,96	19,80	20,32	20,50	20,32	19,80	18,96	17,88	16,61	15,25	13,89	12,63	11,54			
		05	11,0	19,5	11,57	11,14	11,00	11,14	11,57	12,24	13,13	14,15	15,25	16,35	17,38	18,26	18,93	19,36	19,50	19,36	18,93	18,26	17,38	16,35	15,25	14,15	13,13	12,24			
		06	10,0	19,0	10,60	10,15	10,00	10,15	10,60	11,32	12,25	13,34	14,50	15,66	16,75	17,68	18,40	18,85	19,00	18,85	18,40	17,68	16,75	15,66	14,50	13,34	12,25	11,32			
	MAIO	Texas	03	17,5	29,1	18,28	17,70	17,50	17,70	18,28	19,20	20,40	21,80	23,30	24,80	26,20	27,40	28,32	28,90	29,10	28,90	28,32	27,40	26,20	24,80	23,30	21,80	20,40	19,20		
			04	17,6	27,8	18,28	17,77	17,60	17,77	18,28	19,09	20,15	21,38	22,70	24,02	25,25	26,31	27,12	27,63	27,80	27,63	27,12	26,31	25,25	24,02	22,70	21,38	20,15	19,09		
			05	15,9	27,8	16,70	16,10	15,90	16,10	16,70	17,64	18,88	20,31	21,85	23,39	24,83	26,06	27,00	27,60	27,80	27,60	27,00	26,06	24,83	23,39	21,85	20,31	18,88	17,64		
			06	17,3	29,7	18,13	17,51	17,30	17,51	18,13	19,12	20,40	21,90	23,50	25,10	26,60	27,88	28,87	29,49	29,70	29,49	28,87	27,88	26,60	25,10	23,50	21,90	20,40	19,12		
	Lisboa	03	13,0	23,0	13,67	13,17	13,00	13,17	13,67	14,46	15,50	16,71	18,00	19,29	20,50	21,54	22,33	22,83	23,00	22,83	22,33	21,54	20,50	19,29	18,00	16,71	15,50	14,46			
		04	12,5	23,0	13,20	12,68	12,50	12,68	13,20	14,04	15,13	16,39	17,75	19,11	20,38	21,46	22,30	22,82	23,00	22,82	22,30	21,46	20,38	19,11	17,75	16,39	15,13	14,04			
		05	13,0	24,0	13,74	13,19	13,00	13,19	13,74	14,61	15,75	17,08	18,50	19,92	21,25	22,39	23,26	23,81	24,00	23,81	23,26	22,39	21,25	19,92	18,50	17,08	15,75	14,61			
		06	13,0	24,0	13,74	13,19	13,00	13,19	13,74	14,61	15,75	17,08	18,50	19,92	21,25	22,39	23,26	23,81	24,00	23,81	23,26	22,39	21,25	19,92	18,50	17,08	15,75	14,61			
	JUNHO	Texas	03	19,8	30,9	20,54	19,99	19,80	19,99	20,54	21,43	22,58	23,91	25,35	26,79	28,13	29,27	30,16	30,71	30,90	30,71	30,16	29,27	28,13	26,79	25,35	23,91	22,58	21,43		
			04	20,9	30,8	21,56	21,07	20,90	21,07	21,56	22,35	23,38	24,57	25,85	27,13	28,33	29,35	30,14	30,63	30,80	30,63	30,14	29,35	28,33	27,13	25,85	24,57	23,38	22,35		
			05	21,9	33,8	22,70	22,10	21,90	22,10	22,70	23,64	24,88	26,31	27,85	29,39	30,83	32,06	33,00	33,60	33,80	33,60	33,00	32,06	30,83	29,39	27,85	26,31	24,88	23,64		
			06	20,7	34,1	21,60	20,93	20,70	20,93	21,60	22,66	24,05	25,67	27,40	29,13	30,75	32,14	33,20	33,87	34,10	33,87	33,20	32,14	30,75	29,13	27,40	25,67	24,05	22,66		
	Lisboa	03	17,0	27,0	17,67	17,17	17,00	17,17	17,67	18,46	19,50	20,71	22,00	23,29	24,50	25,54	26,33	26,83	27,00	26,83	26,33	25,54	24,50	23,29	22,00	20,71	19,50	18,46			
		04	17,5	27,0	18,14	17,66	17,50	17,66	18,14	18,89	19,88	21,02	22,25	23,48	24,63	25,61	26,36	26,84	27,00	26,84	26,36	25,61	24,63	23,48	22,25	21,02	19,88	18,89			
		05	17,5	29,0	18,27	17,70	17,50	17,70	18,27	19,18	20,38	21,76	23,25	24,74	26,13	27,32	28,23	28,80	29,00	28,80	28,23	27,32	26,13	24,74	23,25	21,76	20,38	19,18			
		06	16,0	24,0	16,54	16,14	16,00	16,14	16,54	17,17	18,00	18,96	20,00	21,04	22,00	22,83	23,46	23,86	24,00	23,86	23,46	22,83	22,00	21,04	20,00	18,96	18,00	17,17			
JULHO	Texas	03	22,2	34,9	23,05	22,42	22,20	22,42	23,05	24,06	25,38	26,91	28,55	30,19	31,73	33,04	34,05	34,68	34,90	34,68	34,05	33,04	31,73	30,19	28,55	26,91	25,38	24,06			
		04	21,7	32,6	22,43	21,89	21,70	21,89	22,43	23,30	24,43	25,74	27,15	28,56	29,88	31,00	31,87	32,41	32,60	32,41	31,87	31,00	29,88	28,56	27,15	25,74	24,43	23,30			

TEMPERATURA – MÉTODO PROPOSTO POR PICADO SANTOS

AGOSTO	Lisboa	05	22,3	34,6	23,12	22,51	22,30	22,51	23,12	24,10	25,38	26,86	28,45	30,04	31,53	32,80	33,78	34,39	34,60	34,39	33,78	32,80	31,53	30,04	28,45	26,86	25,38	24,10
		06	23,1	36,1	23,97	23,32	23,10	23,32	23,97	25,00	26,35	27,92	29,60	31,28	32,85	34,20	35,23	35,88	36,10	35,88	35,23	34,20	32,85	31,28	29,60	27,92	26,35	25,00
		03	17,0	27,0	17,67	17,17	17,00	17,17	17,67	18,46	19,50	20,71	22,00	23,29	24,50	25,54	26,33	26,83	27,00	26,83	26,33	25,54	24,50	23,29	22,00	20,71	19,50	18,46
		04	18,5	29,0	19,20	18,68	18,50	18,68	19,20	20,04	21,13	22,39	23,75	25,11	26,38	27,46	28,30	28,82	29,00	28,82	28,30	27,46	26,38	25,11	23,75	22,39	21,13	20,04
		05	17,0	28,0	17,74	17,19	17,00	17,19	17,74	18,61	19,75	21,08	22,50	23,92	25,25	26,39	27,26	27,81	28,00	27,81	27,26	26,39	25,25	23,92	22,50	21,08	19,75	18,61
		06	18,0	28,0	18,67	18,17	18,00	18,17	18,67	19,46	20,50	21,71	23,00	24,29	25,50	26,54	27,33	27,83	28,00	27,83	27,33	26,54	25,50	24,29	23,00	21,71	20,50	19,46
	Texas	03	22,4	36,1	23,32	22,63	22,40	22,63	23,32	24,41	25,83	27,48	29,25	31,02	32,68	34,09	35,18	35,87	36,10	35,87	35,18	34,09	32,68	31,02	29,25	27,48	25,83	24,41
		04	20,9	32,2	21,66	21,09	20,90	21,09	21,66	22,55	23,73	25,09	26,55	28,01	29,38	30,55	31,44	32,01	32,20	32,01	31,44	30,55	29,38	28,01	26,55	25,09	23,73	22,55
		05	22,6	36,2	23,51	22,83	22,60	22,83	23,51	24,59	26,00	27,64	29,40	31,16	32,80	34,21	35,29	35,97	36,20	35,97	35,29	34,21	32,80	31,16	29,40	27,64	26,00	24,59
		06	24,0	37,8	24,92	24,24	24,00	24,24	24,92	26,02	27,45	29,11	30,90	32,69	34,35	35,78	36,88	37,56	37,80	37,56	36,88	35,78	34,35	32,69	30,90	29,11	27,45	26,02
	Lisboa	03	19,0	29,0	19,67	19,17	19,00	19,17	19,67	20,46	21,50	22,71	24,00	25,29	26,50	27,54	28,33	28,83	29,00	28,83	28,33	27,54	26,50	25,29	24,00	22,71	21,50	20,46
		04	18,0	27,0	18,60	18,15	18,00	18,15	18,60	19,32	20,25	21,34	22,50	23,66	24,75	25,68	26,40	26,85	27,00	26,85	26,40	25,68	24,75	23,66	22,50	21,34	20,25	19,32
		05	18,0	31,0	18,87	18,22	18,00	18,22	18,87	19,90	21,25	22,82	24,50	26,18	27,75	29,10	30,13	30,78	31,00	30,78	30,13	29,10	27,75	26,18	24,50	22,82	21,25	19,90
		06	18,0	28,0	18,67	18,17	18,00	18,17	18,67	19,46	20,50	21,71	23,00	24,29	25,50	26,54	27,33	27,83	28,00	27,83	27,33	26,54	25,50	24,29	23,00	21,71	20,50	19,46
SETEMBRO	Texas	03	16,9	29,2	17,72	17,11	16,90	17,11	17,72	18,70	19,98	21,46	23,05	24,64	26,13	27,40	28,38	28,99	29,20	28,99	28,38	27,40	26,13	24,64	23,05	21,46	19,98	18,70
		04	17,8	32,2	18,76	18,05	17,80	18,05	18,76	19,91	21,40	23,14	25,00	26,86	28,60	30,09	31,24	31,95	32,20	31,95	31,24	30,09	28,60	26,86	25,00	23,14	21,40	19,91
		05	20,4	35,4	21,40	20,66	20,40	20,66	21,40	22,60	24,15	25,96	27,90	29,84	31,65	33,20	34,40	35,14	35,40	35,14	34,40	33,20	31,65	29,84	27,90	25,96	24,15	22,60
		06	17,6	31,3	18,52	17,83	17,60	17,83	18,52	19,61	21,03	22,68	24,45	26,22	27,88	29,29	30,38	31,07	31,30	31,07	30,38	29,29	27,88	26,22	24,45	22,68	21,03	19,61
	Lisboa	03	17,0	27,0	17,67	17,17	17,00	17,17	17,67	18,46	19,50	20,71	22,00	23,29	24,50	25,54	26,33	26,83	27,00	26,83	26,33	25,54	24,50	23,29	22,00	20,71	19,50	18,46
		04	16,0	26,5	16,70	16,18	16,00	16,18	16,70	17,54	18,63	19,89	21,25	22,61	23,88	24,96	25,80	26,32	26,50	26,32	25,80	24,96	23,88	22,61	21,25	19,89	18,63	17,54
		05	16,0	27,0	16,74	16,19	16,00	16,19	16,74	17,61	18,75	20,08	21,50	22,92	24,25	25,39	26,26	26,81	27,00	26,81	26,26	25,39	24,25	22,92	21,50	20,08	18,75	17,61
		06	16,0	26,0	16,67	16,17	16,00	16,17	16,67	17,46	18,50	19,71	21,00	22,29	23,50	24,54	25,33	25,83	26,00	25,83	25,33	24,54	23,50	22,29	21,00	19,71	18,50	17,46
Outubro	Texas	03	12,5	27,0	13,47	12,75	12,50	12,75	13,47	14,62	16,13	17,87	19,75	21,63	23,38	24,88	26,03	26,75	27,00	26,75	26,03	24,88	23,38	21,63	19,75	17,87	16,13	14,62
		04	16,0	27,5	16,77	16,20	16,00	16,20	16,77	17,68	18,88	20,26	21,75	23,24	24,63	25,82	26,73	27,30	27,50	27,30	26,73	25,82	24,63	23,24	21,75	20,26	18,88	17,68
		05	11,7	26,7	12,70	11,96	11,70	11,96	12,70	13,90	15,45	17,26	19,20	21,14	22,95	24,50	25,70	26,44	26,70	26,44	25,70	24,50	22,95	21,14	19,20	17,26	15,45	13,90
		06	11,9	26,6	12,88	12,15	11,90	12,15	12,88	14,05	15,58	17,35	19,25	21,15	22,93	24,45	25,62	26,35	26,60	26,35	25,62	24,45	22,93	21,15	19,25	17,35	15,58	14,05
	Porto	03	13,0	21,0	13,54	13,14	13,00	13,14	13,54	14,17	15,00	15,96	17,00	18,04	19,00	19,83	20,46	20,86	21,00	20,86	20,46	19,83	19,00	18,04	17,00	15,96	15,00	14,17
		04	14,0	22,5	14,57	14,14	14,00	14,14	14,57	15,24	16,13	17,15	18,25	19,35	20,38	21,26	21,93	22,36	22,50	22,36	21,93	21,26	20,38	19,35	18,25	17,15	16,13	15,24
		05	14,0	22,0	14,54	14,14	14,00	14,14	14,54	15,17	16,00	16,96	18,00	19,04	20,00	20,83	21,46	21,86	22,00	21,86	21,46	20,83	20,00	19,04	18,00	16,96	16,00	15,17
		06	16,0	22,0	16,40	16,10	16,00	16,10	16,40	16,88	17,50	18,22	19,00	19,78	20,50	21,12	21,60	21,90	22,00	21,90	21,60	21,12	20,50	19,78	19,00	18,22	17,50	16,88

II.3 Caso C: Mississippi e Porto

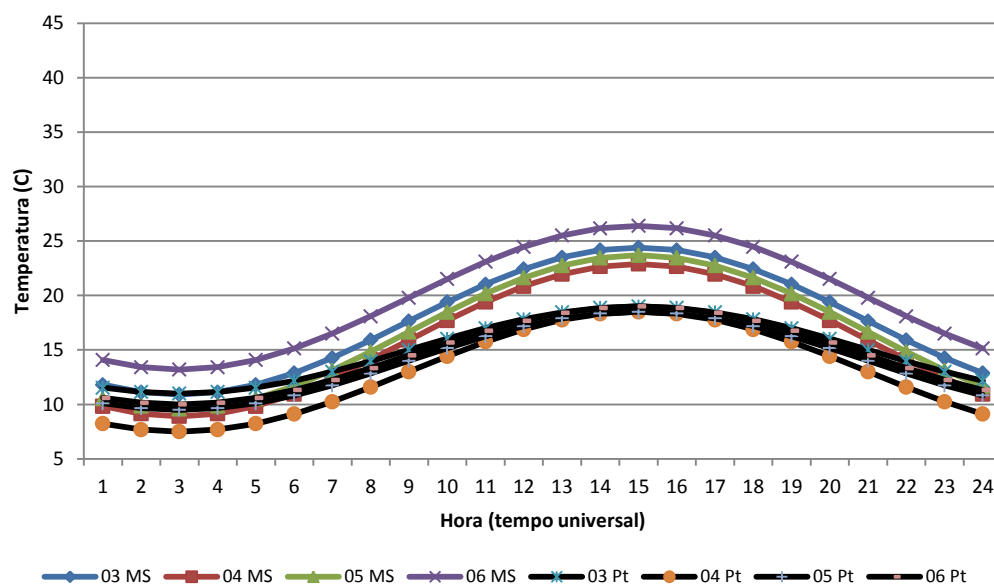


Figura II. 15 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de abril para o Mississippi e o Porto

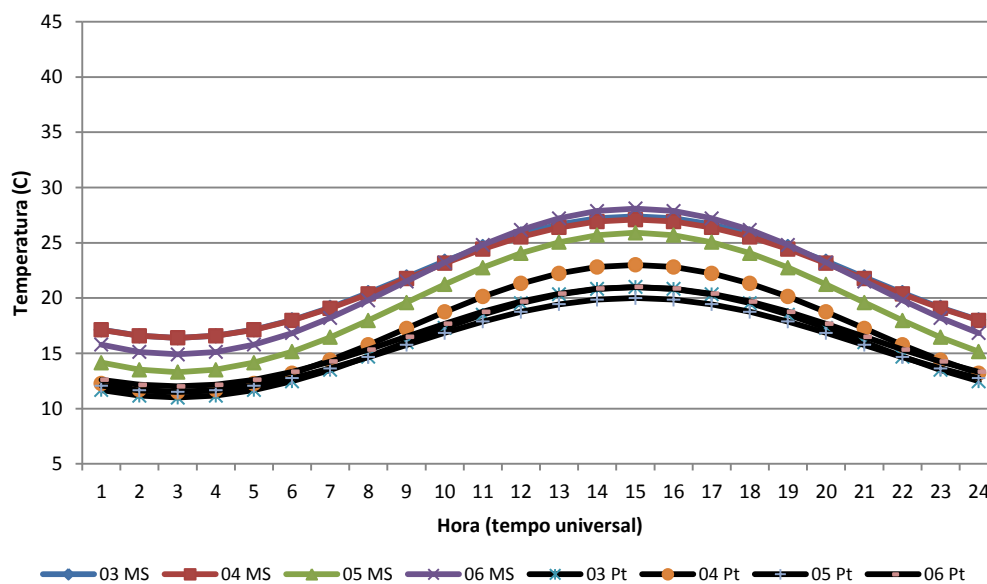


Figura II. 16 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de maio para o Mississippi e o Porto

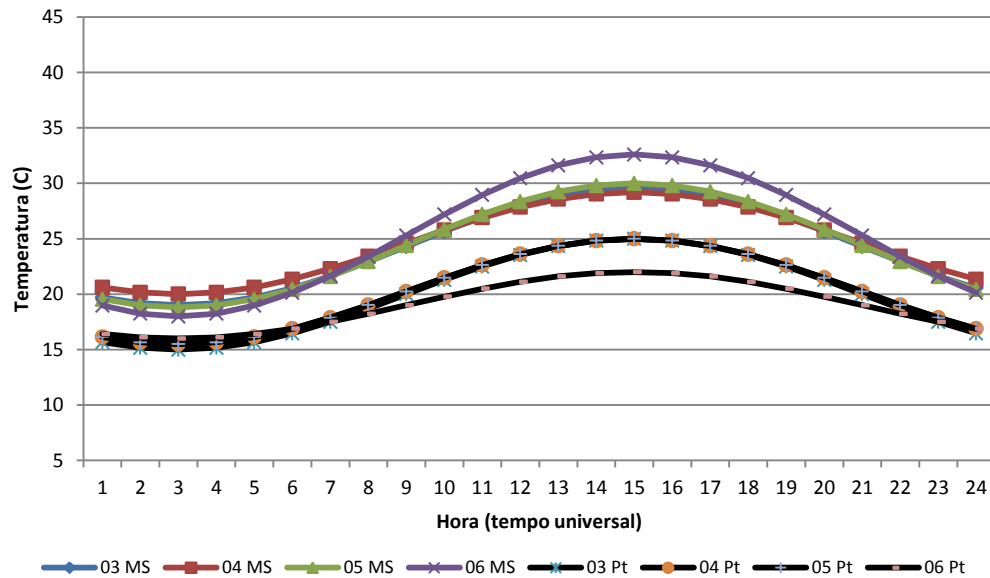


Figura II. 17 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de junho para o Mississippi e o Porto

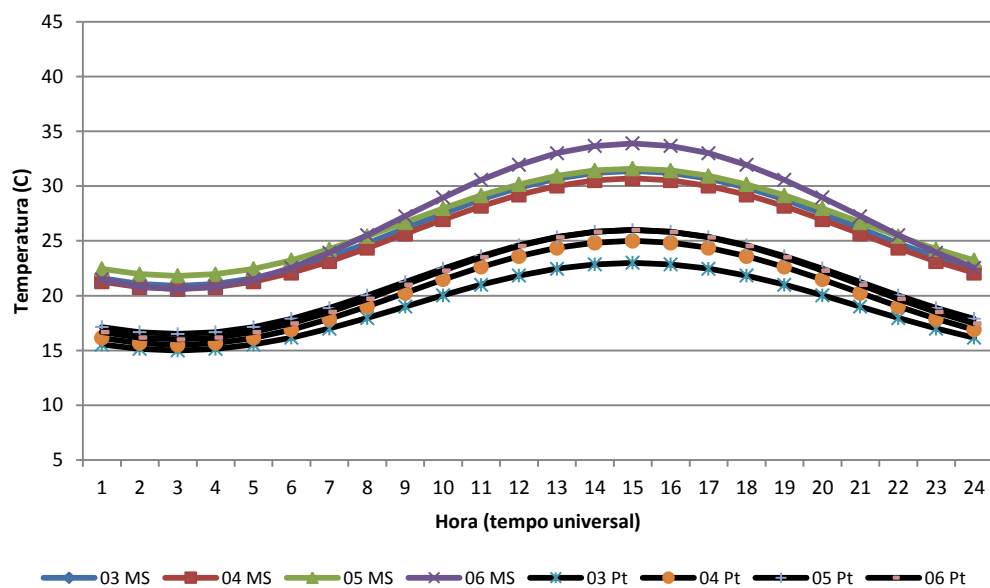


Figura II. 18 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de julho para o Mississippi e o Porto

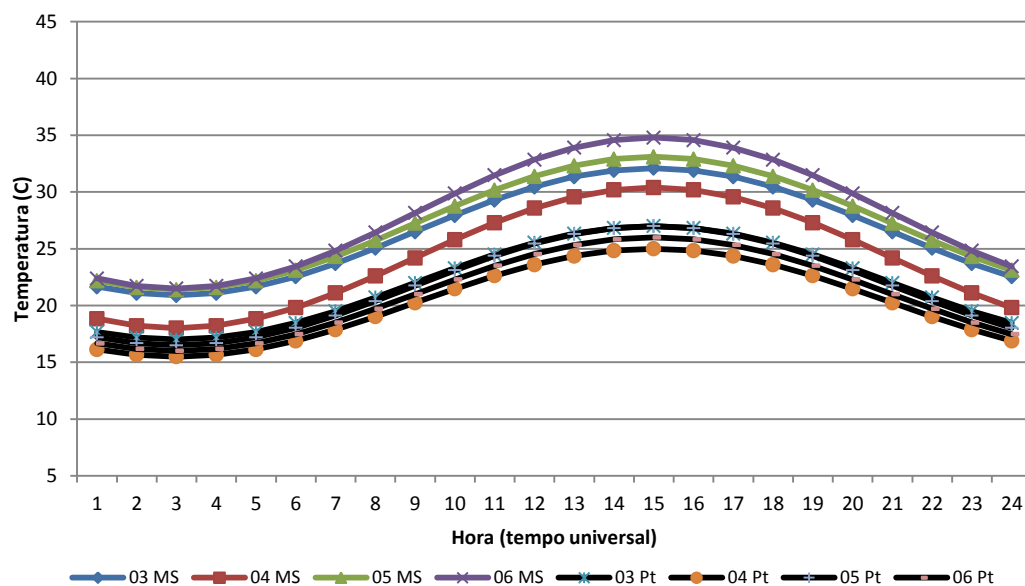


Figura II. 19 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de agosto para o Mississippi e o Porto

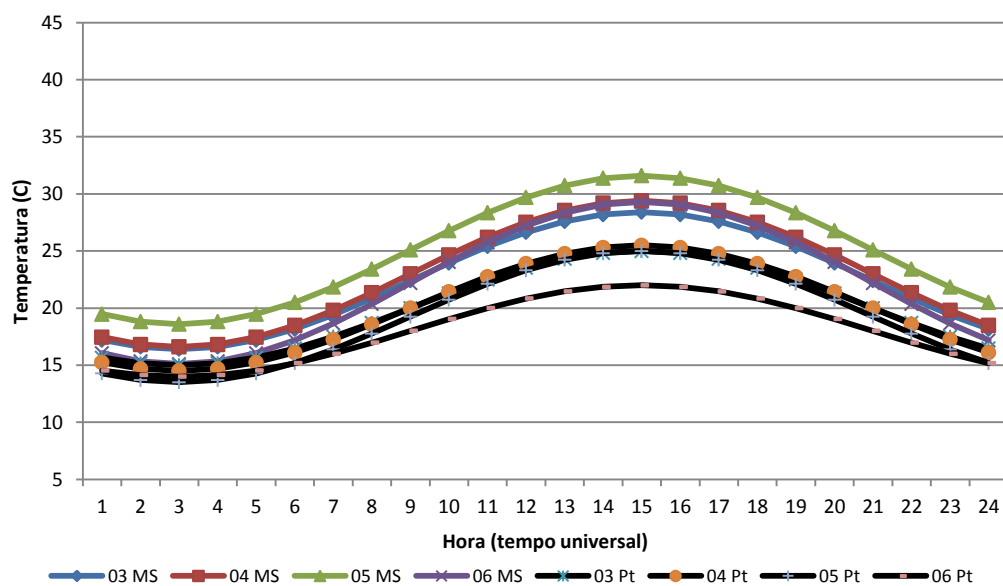


Figura II. 20 – Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de setembro para o Mississippi e o Porto

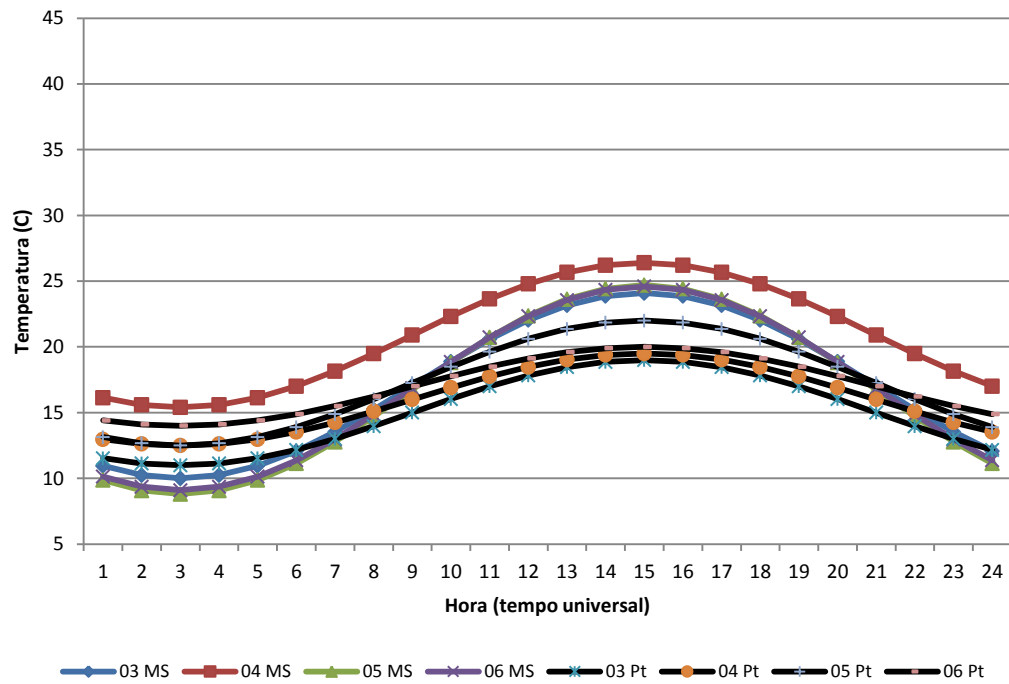


Figura II. 21– Simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão no mês de outubro para o Mississippi e o Porto

Quadro II. 3– Cálculo da simulação da temperatura do ar característica de um dia de verão entre abril e maio de 2003 a 2006, Mississippi e Porto

				α_1																										
				0,93	0,98	1,00	0,98	0,93	0,85	0,75	0,63	0,50	0,37	0,25	0,15	0,07	0,02	0,00	0,02	0,07	0,15	0,25	0,37	0,50	0,63	0,75	0,85			
				Ano	Tmin (°C)	Tmax (°C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ABRIL	Mississippi	03	10,9	24,4	11,80	11,13	10,90	11,13	11,80	12,88	14,28	15,90	17,65	19,40	21,03	22,42	23,50	24,17	24,40	24,17	23,50	22,42	21,03	19,40	17,65	15,90	14,28	12,88		
		04	8,9	22,9	9,84	9,14	8,90	9,14	9,84	10,95	12,40	14,09	15,90	17,71	19,40	20,85	21,96	22,66	22,90	22,66	21,96	20,85	19,40	17,71	15,90	14,09	12,40	10,95		
		05	9,6	23,7	10,54	9,84	9,60	9,84	10,54	11,66	13,13	14,83	16,65	18,47	20,18	21,64	22,76	23,46	23,70	23,46	22,76	21,64	20,18	18,47	16,65	14,83	13,13	11,66		
		06	13,2	26,4	14,08	13,42	13,20	13,42	14,08	15,13	16,50	18,09	19,80	21,51	23,10	24,47	25,52	26,18	26,40	26,18	25,52	24,47	23,10	21,51	19,80	18,09	16,50	15,13		
	Porto	03	11,0	19,0	11,54	11,14	11,00	11,14	11,54	12,17	13,00	13,96	15,00	16,04	17,00	17,83	18,46	18,86	19,00	18,86	18,46	17,83	17,00	16,04	15,00	13,96	13,00	12,17		
		04	7,5	18,5	8,24	7,69	7,50	7,69	8,24	9,11	10,25	11,58	13,00	14,42	15,75	16,89	17,76	18,31	18,50	18,31	17,76	16,89	15,75	14,42	13,00	11,58	10,25	9,11		
		05	9,5	18,5	10,10	9,65	9,50	9,65	10,10	10,82	11,75	12,84	14,00	15,16	16,25	17,18	17,90	18,35	18,50	18,35	17,90	17,18	16,25	15,16	14,00	12,84	11,75	10,82		
		06	10,0	19,0	10,60	10,15	10,00	10,15	10,60	11,32	12,25	13,34	14,50	15,66	16,75	17,68	18,40	18,85	19,00	18,85	18,40	17,68	16,75	15,66	14,50	13,34	12,25	11,32		
MAIO	Mississippi	03	16,4	27,4	17,14	16,59	16,40	16,59	17,14	18,01	19,15	20,48	21,90	23,32	24,65	25,79	26,66	27,21	27,40	27,21	26,66	25,79	24,65	23,32	21,90	20,48	19,15	18,01		
		04	16,4	27,1	17,12	16,58	16,40	16,58	17,12	17,97	19,08	20,37	21,75	23,13	24,43	25,53	26,38	26,92	27,10	26,92	26,38	25,53	24,43	23,13	21,75	20,37	19,08	17,97		
		05	13,3	25,9	14,14	13,51	13,30	13,51	14,14	15,15	16,45	17,97	19,60	21,23	22,75	24,05	25,06	25,69	25,90	25,69	25,06	24,05	22,75	21,23	19,60	17,97	16,45	15,15		
		06	14,9	28,1	15,78	15,12	14,90	15,12	15,78	16,83	18,20	19,79	21,50	23,21	24,80	26,17	27,22	27,88	28,10	27,88	27,22	26,17	24,80	23,21	21,50	19,79	18,20	16,83		
	Porto	03	11,0	21,0	11,67	11,17	11,00	11,17	11,67	12,46	13,50	14,71	16,00	17,29	18,50	19,54	20,33	20,83	21,00	20,83	20,33	19,54	18,50	17,29	16,00	14,71	13,50	12,46		
		04	11,5	23,0	12,27	11,70	11,50	11,70	12,27	13,18	14,38	15,76	17,25	18,74	20,13	21,32	22,23	22,80	23,00	22,80	22,23	21,32	20,13	18,74	17,25	15,76	14,38	13,18		
		05	11,5	20,0	12,07	11,64	11,50	11,64	12,07	12,74	13,63	14,65	15,75	16,85	17,88	18,76	19,43	19,86	20,00	19,86	19,43	18,76	17,88	16,85	15,75	14,65	13,63	12,74		
		06	12,0	21,0	12,60	12,15	12,00	12,15	12,60	13,32	14,25	15,34	16,50	17,66	18,75	19,68	20,40	20,85	21,00	20,85	20,40	19,68	18,75	17,66	16,50	15,34	14,25	13,32		
JUNHO	Mississippi	03	19,0	29,6	19,71	19,18	19,00	19,18	19,71	20,55	21,65	22,93	24,30	25,67	26,95	28,05	28,89	29,42	29,60	29,42	28,89	28,05	26,95	25,67	24,30	22,93	21,65	20,55		
		04	20,0	29,2	20,62	20,16	20,00	20,16	20,62	21,35	22,30	23,41	24,60	25,79	26,90	27,85	28,58	29,04	29,20	29,04	28,58	27,85	26,90	25,79	24,60	23,41	22,30	21,35		
		05	18,8	30,0	19,55	18,99	18,80	18,99	19,55	20,44	21,60	22,95	24,40	25,85	27,20	28,36	29,25	29,81	30,00	29,81	29,25	28,36	27,20	25,85	24,40	22,95	21,60	20,44		
		06	18,0	32,6	18,98	18,25	18,00	18,25	18,98	20,14	21,65	23,41	25,30	27,19	28,95	30,46	31,62	32,35	32,60	32,35	31,62	30,46	28,95	27,19	25,30	23,41	21,65	20,14		
	Porto	03	15,0	25,0	15,67	15,17	15,00	15,17	15,67	16,46	17,50	18,71	20,00	21,29	22,50	23,54	24,33	24,83	25,00	24,83	24,33	23,54	22,50	21,29	20,00	18,71	17,50	16,46		
		04	15,5	25,0	16,14	15,66	15,50	15,66	16,14	16,89	17,88	19,02	20,25	21,48	22,63	23,61	24,36	24,84	25,00	24,84	24,36	23,61	22,63	21,48	20,25	19,02	17,88	16,89		
		05	15,5	25,0	16,14	15,66	15,50	15,66	16,14	16,89	17,88	19,02	20,25	21,48	22,63	23,61	24,36	24,84	25,00	24,84	24,36	23,61	22,63	21,48	20,25	19,02	17,88	16,89		
		06	16,0	22,0	16,40	16,10	16,00	16,10	16,40	16,88	17,50	18,22	19,00	19,78	20,50	21,12	21,60	21,90	22,00	21,90	21,60	21,12	20,50	19,78	19,00	18,22	17,50	16,88		
JULHO	Mississippi	03	20,9	31,4	21,60	21,08	20,90	21,08	21,60	22,44	23,53	24,79	26,15	27,51	28,78	29,86	30,70	31,22	31,40	31,22	30,70	29,86	28,78	27,51	26,15	24,79	23,53	22,44		
		04	20,6	30,7	21,28	20,77	20,60	20,77	21,28	22,08	23,13	24,34	25,65	26,96	28,18	29,22	30,02	30,53	30,70	30,53	30,02	29,22	28,18	26,96	25,65	24,34	23,13	22,08		

TEMPERATURA – MÉTODO PROPOSTO POR PICADO SANTOS

	Porto	05	21,8	31,6	22,46	21,97	21,80	21,97	22,46	23,24	24,25	25,43	26,70	27,97	29,15	30,16	30,94	31,43	31,60	31,43	30,94	30,16	29,15	27,97	26,70	25,43	24,25	23,24
		06	20,6	33,9	21,49	20,83	20,60	20,83	21,49	22,55	23,93	25,53	27,25	28,97	30,58	31,95	33,01	33,67	33,90	33,67	33,01	31,95	30,58	28,97	27,25	25,53	23,93	22,55
		03	15,0	23,0	15,54	15,14	15,00	15,14	15,54	16,17	17,00	17,96	19,00	20,04	21,00	21,83	22,46	22,86	23,00	22,86	22,46	21,83	21,00	20,04	19,00	17,96	17,00	16,17
		04	15,5	25,0	16,14	15,66	15,50	15,66	16,14	16,89	17,88	19,02	20,25	21,48	22,63	23,61	24,36	24,84	25,00	24,84	24,36	23,61	22,63	21,48	20,25	19,02	17,88	16,89
		05	16,5	26,0	17,14	16,66	16,50	16,66	17,14	17,89	18,88	20,02	21,25	22,48	23,63	24,61	25,36	25,84	26,00	25,84	25,36	24,61	23,63	22,48	21,25	20,02	18,88	17,89
		06	16,0	26,0	16,67	16,17	16,00	16,17	16,67	17,46	18,50	19,71	21,00	22,29	23,50	24,54	25,33	25,83	26,00	25,83	25,33	24,54	23,50	22,29	21,00	19,71	18,50	17,46
AGOSTO	Mississippi	03	20,9	32,1	21,65	21,09	20,90	21,09	21,65	22,54	23,70	25,05	26,50	27,95	29,30	30,46	31,35	31,91	32,10	31,91	31,35	30,46	29,30	27,95	26,50	25,05	23,70	22,54
		04	18,0	30,4	18,83	18,21	18,00	18,21	18,83	19,82	21,10	22,60	24,20	25,80	27,30	28,58	29,57	30,19	30,40	30,19	29,57	28,58	27,30	25,80	24,20	22,60	21,10	19,82
		05	21,4	33,1	22,18	21,60	21,40	21,60	22,18	23,11	24,33	25,74	27,25	28,76	30,18	31,39	32,32	32,90	33,10	32,90	32,32	31,39	30,18	28,76	27,25	25,74	24,33	23,11
		06	21,5	34,8	22,39	21,73	21,50	21,73	22,39	23,45	24,83	26,43	28,15	29,87	31,48	32,85	33,91	34,57	34,80	34,57	33,91	32,85	31,48	29,87	28,15	26,43	24,83	23,45
	Porto	03	17,0	27,0	17,67	17,17	17,00	17,17	17,67	18,46	19,50	20,71	22,00	23,29	24,50	25,54	26,33	26,83	27,00	26,83	26,33	25,54	24,50	23,29	22,00	20,71	19,50	18,46
		04	15,5	25,0	16,14	15,66	15,50	15,66	16,14	16,89	17,88	19,02	20,25	21,48	22,63	23,61	24,36	24,84	25,00	24,84	24,36	23,61	22,63	21,48	20,25	19,02	17,88	16,89
		05	16,5	27,0	17,20	16,68	16,50	16,68	17,20	18,04	19,13	20,39	21,75	23,11	24,38	25,46	26,30	26,82	27,00	26,82	26,30	25,46	24,38	23,11	21,75	20,39	19,13	18,04
		06	16,0	26,0	16,67	16,17	16,00	16,17	16,67	17,46	18,50	19,71	21,00	22,29	23,50	24,54	25,33	25,83	26,00	25,83	25,33	24,54	23,50	22,29	21,00	19,71	18,50	17,46
SETEMBRO	Mississippi	03	16,4	28,4	17,20	16,60	16,40	16,60	17,20	18,16	19,40	20,85	22,40	23,95	25,40	26,64	27,60	28,20	28,40	28,20	27,60	26,64	25,40	23,95	22,40	20,85	19,40	18,16
		04	16,6	29,4	17,46	16,82	16,60	16,82	17,46	18,47	19,80	21,34	23,00	24,66	26,20	27,53	28,54	29,18	29,40	29,18	28,54	27,53	26,20	24,66	23,00	21,34	19,80	18,47
		05	18,6	31,6	19,47	18,82	18,60	18,82	19,47	20,50	21,85	23,42	25,10	26,78	28,35	29,70	30,73	31,38	31,60	31,38	30,73	29,70	28,35	26,78	25,10	23,42	21,85	20,50
		06	15,1	29,3	16,05	15,34	15,10	15,34	16,05	17,18	18,65	20,36	22,20	24,04	25,75	27,22	28,35	29,06	29,30	29,06	28,35	27,22	25,75	24,04	22,20	20,36	18,65	17,18
	Porto	03	15,0	25,0	15,67	15,17	15,00	15,17	15,67	16,46	17,50	18,71	20,00	21,29	22,50	23,54	24,33	24,83	25,00	24,83	24,33	23,54	22,50	21,29	20,00	18,71	17,50	16,46
		04	14,5	25,5	15,24	14,69	14,50	14,69	15,24	16,11	17,25	18,58	20,00	21,42	22,75	23,89	24,76	25,31	25,50	25,31	24,76	23,89	22,75	21,42	20,00	18,58	17,25	16,11
		05	13,5	25,0	14,27	13,70	13,50	13,70	14,27	15,18	16,38	17,76	19,25	20,74	22,13	23,32	24,23	24,80	25,00	24,80	24,23	23,32	22,13	20,74	19,25	17,76	16,38	15,18
		06	14,0	22,0	14,54	14,14	14,00	14,14	14,54	15,17	16,00	16,96	18,00	19,04	20,00	20,83	21,46	21,86	22,00	21,86	21,46	20,83	20,00	19,04	18,00	16,96	16,00	15,17
OUTUBRO	Mississippi	03	10,0	24,1	10,94	10,24	10,00	10,24	10,94	12,06	13,53	15,23	17,05	18,87	20,58	22,04	23,16	23,86	24,10	23,86	23,16	22,04	20,58	18,87	17,05	15,23	13,53	12,06
		04	15,4	26,4	16,14	15,59	15,40	15,59	16,14	17,01	18,15	19,48	20,90	22,32	23,65	24,79	25,66	26,21	26,40	26,21	25,66	24,79	23,65	22,32	20,90	19,48	18,15	17,01
		05	8,8	24,7	9,87	9,07	8,80	9,07	9,87	11,13	12,78	14,69	16,75	18,81	20,73	22,37	23,63	24,43	24,70	24,43	23,63	22,37	20,73	18,81	16,75	14,69	12,78	11,13
		06	9,1	24,6	10,14	9,36	9,10	9,36	10,14	11,37	12,98	14,84	16,85	18,86	20,73	22,33	23,56	24,34	24,60	24,34	23,56	22,33	20,73	18,86	16,85	14,84	12,98	11,37
	Porto	03	11,0	19,0	11,54	11,14	11,00	11,14	11,54	12,17	13,00	13,96	15,00	16,04	17,00	17,83	18,46	18,86	19,00	18,86	18,46	17,83	17,00	16,04	15,00	13,96	13,00	12,17
		04	12,5	19,5	12,97	12,62	12,50	12,62	12,97	13,53	14,25	15,09	16,00	16,91	17,75	18,47	19,03	19,38	19,50	19,38	19,03	18,47	17,75	16,91	16,00	15,09	14,25	13,53
		05	12,5	22,0	13,14	12,66	12,50	12,66	13,14	13,89	14,88	16,02	17,25	18,48	19,63	20,61	21,36	21,84	22,00	21,84	21,36	20,61	19,63	18,48	17,25	16,02	14,88	13,89
		06	14,0	20,0	14,40	14,10	14,00	14,10	14,40	14,88	15,50	16,22	17,00	17,78	18,50	19,12	19,60	19,90	20,00	19,90	19,60	19,12	18,50	17,78	17,00	16,22	15,50	14,88

APÊNDICE III. Tráfego

III.1 Califórnia

No Quadro III.1 e na Figura III.1 resume-se a informação existente na SDR-24 sobre a estimativa anual do tráfego para as secções da Califórnia, referente ao período entre 1993 e 1997.

Quadro III. 1– Estimativa média anual do tráfego acumulado na Califórnia entre 1993 e 1997

Ano	Tráfego anual acumulado (milhares de eixos-padrão de 80 kN)
1993	2458
1994	4642
1995	6606
1996	8570
1997	9911

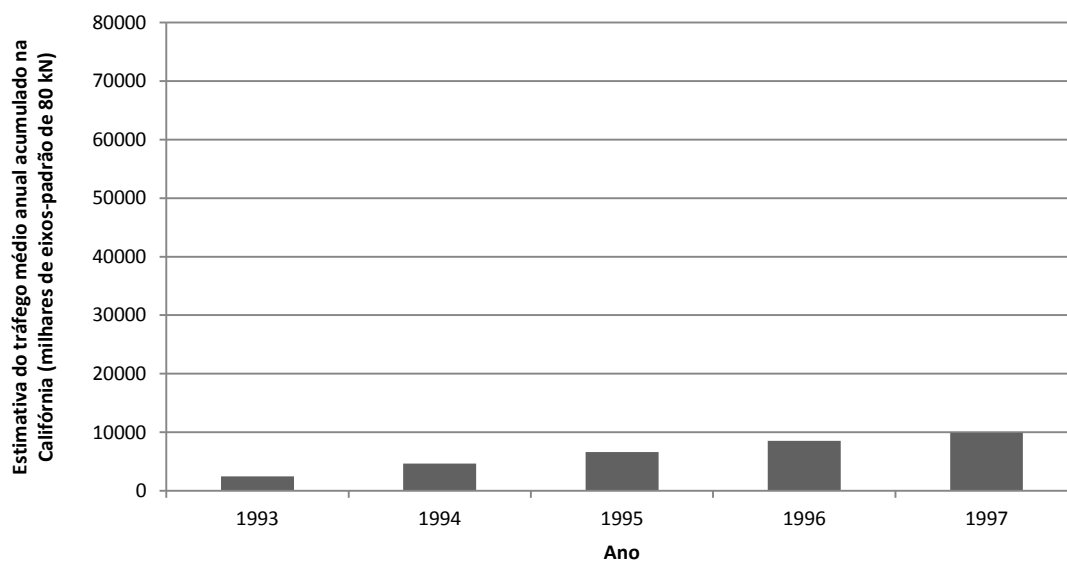


Figura III. 1– Estimativa da média anual do tráfego acumulado de pesados na Califórnia entre 1993 e 1997

III.2 Texas

No Quadro III.2 e na Figura III.2 resume-se a informação existente na SDR-24 sobre a estimativa anual do tráfego para as secções do Texas, referente ao período entre 1990 e 2007.

Quadro III. 2– Estimativa média anual do tráfego acumulado no Texas entre 1990 e 2007

Ano	Tráfego anual acumulado (milhares de eixos-padrão de 80 kN)
1990	129
1991	262
1992	399
1993	540
1994	686
1995	836
1996	990
1997	1149
1998	1313
1999	1482
2000	1656
2001	1835
2002	2019
2003	2209
2004	2405
2005	2607
2006	2815
2007	3029

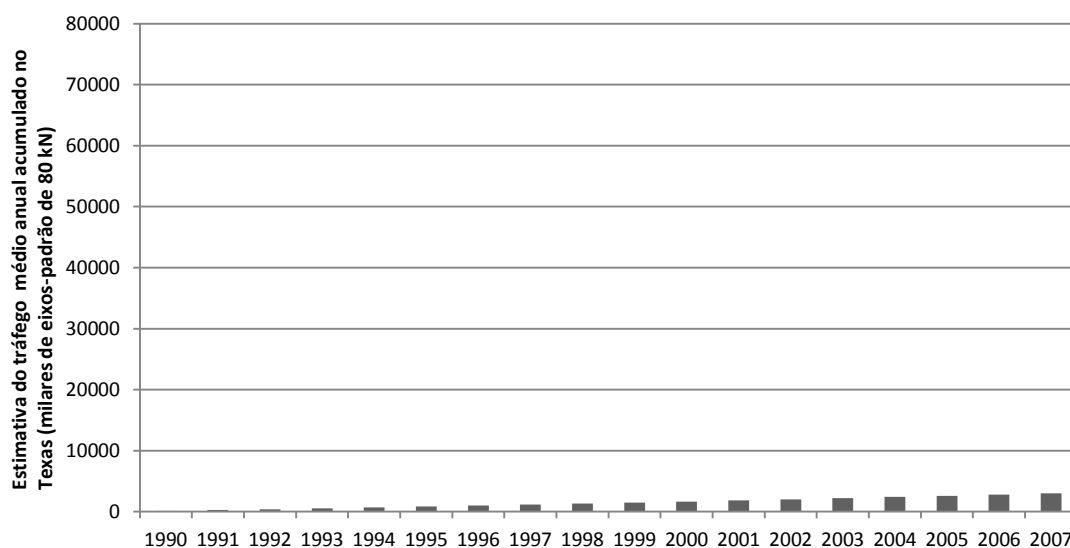


Figura III. 2 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Texas entre 1990 e 2007

III.3 Mississippi

No Quadro III.3 e na Figura III.3 resume-se a informação existente na SDR-24 sobre a estimativa anual do tráfego para as secções do Mississippi, referente ao período entre 1990 e 1999.

Quadro III. 3 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Mississippi entre 1990 e 1999

Ano	Tráfego anual acumulado (milhares de eixos-padrão de 80 kN)
1990	6295
1991	12778
1992	19456
1993	26334
1994	33419
1995	40716
1996	48232
1997	55974
1998	63948
1999	72161

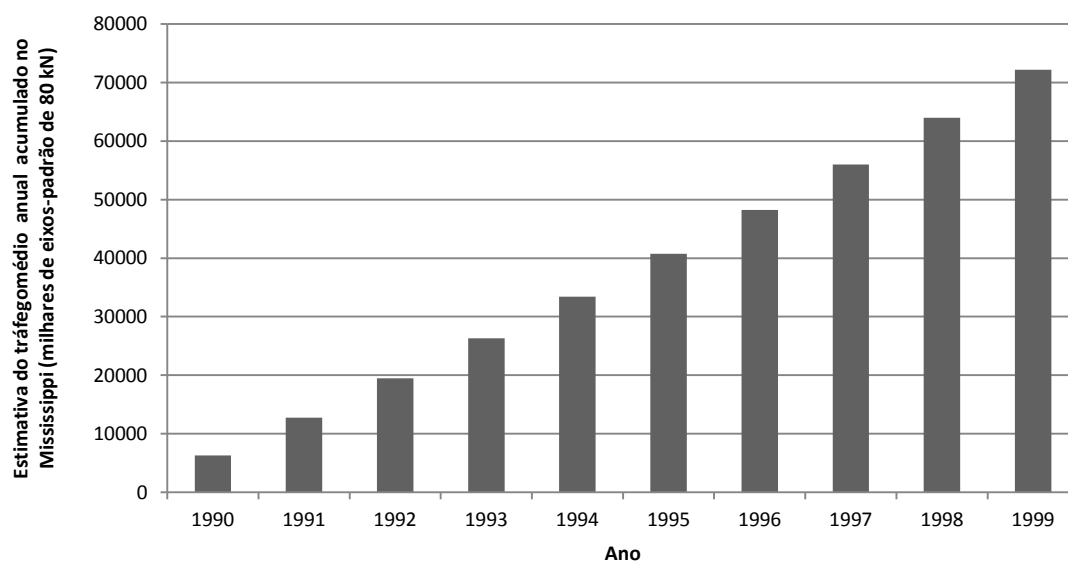


Figura III. 3 – Estimativa média anual do tráfego acumulado no Mississippi entre 1990 e 1999

APÊNDICE IV. Modelos de Previsão da Evolução das Patologias nas Secções do Estado da Califórnia: diferentes períodos de reabilitação

IV.1 Fendilhamento Longitudinal

O fendilhamento longitudinal durante o período de 1992 a 2001 para as secções estudadas na Califórnia pode ser traduzido pela expressão (IV.1):

$$y = -65,092 \times x_1 + 21,377 \times x_2 \quad [R^2=84,5\%] \quad (IV.1)$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento longitudinal, m/secção;

x_1 : preparação da superfície, “0” para secções sem fresagem e “1” para secções fresadas;

x_2 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 9 anos.

No Quadro IV.1 resumem-se os resultados da análise, apresentando-se 4 modelos com diferentes variáveis explicativas. A expressão (IV.1) corresponde ao modelo 4. As variáveis *Espessura de Revestimento* e *Tipo de Mistura* são rejeitadas pelo modelo traduzido pela expressão (IV.1), o que pode verificar-se pelos valores de significância superiores a 0,05 rodeados a vermelho no Quadro IV.1 (modelo 4). No Quadro IV.2, apesar de se resumirem as variáveis excluídas pelos modelos, uma vez que o modelo adotado não consta do mesmo, apenas se consideram as variáveis excluídas no Quadro IV.1.

Quadro IV. 1 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	1,061	,136	,755	7,816	,000
2	Espessura_do_Revestimento	1,254	,178	,893	7,052	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	-38,561	23,504	-,208	-1,641	,108
3	Espessura_do_Revestimento	1,211	,202	,863	5,988	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	-40,253	24,005	-,217	-1,677	,101
	Tipo_de_Mistura_CODE	10,816	23,816	,057	,454	,652
4	Espessura_do_Revestimento	,226	,174	,161	1,302	,200
	Preparação_da_Superfície_CODE	-65,092	15,332	-,351	-4,245	,000
	Tipo_de_Mistura_CODE	-23,592	15,483	-,124	-1,524	,135
	Temp_Reab	21,377	2,571	1,050	8,313	,000

Quadro IV. 2 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	-,208 ^a	-1,641	,108	-,238	,562
	Tipo_de_Mistura_CODE	,024 ^a	,192	,848	,029	,596
	Temp_Reab	,876 ^a	6,160	,000	,676	,256
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,057 ^a	,454	,652	,068	,581
	Temp_Reab	,999 ^a	8,084	,000	,773	,243
3	Temp_Reab	1,050 ^a	8,313	,000	,785	,225

Na Figura IV.1, encontra-se o histograma da normalidade dos resíduos.

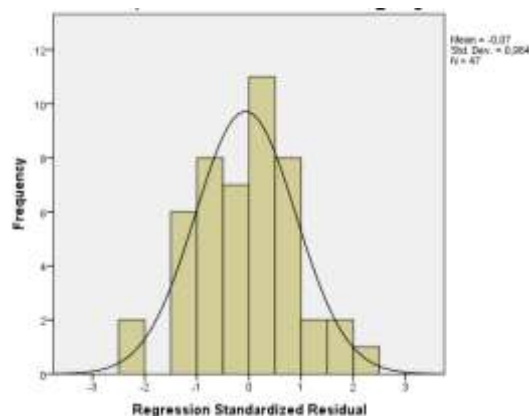


Figura IV. 1 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

No período de 2002 a 2007, a patologia é traduzida pela expressão (IV.2).

$$y = 0,688 \times x_1 + 12,757 \times x_2 \quad [R^2=95,9\%] \quad (IV.2)$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento longitudinal, m/secção;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_2 : número de anos após a primeira reabilitação, podendo assumir valores entre 10 e 15 anos.

As variáveis *Preparação da Superfície* e *Tipo de Mistura* são rejeitadas pelo modelo anterior, tal como se observa pelos valores de significância rodeados a vermelho no Quadro IV.3 e pela ausência do modelo 4 no Quadro IV.4.

Quadro IV. 3 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	2,263	,159	,931	14,243	,000
2	Espessura_do_Revestimento	2,082	,206	,857	10,091	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	37,413	27,782	,114	1,347	,188
3	Espessura_do_Revestimento	1,816	,220	,748	8,269	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	28,869	25,954	,088	1,112	,275
	Tipo_de_Mistura_CODE	63,606	25,954	,194	2,451	,021
4	Espessura_do_Revestimento	,688	,223	,283	3,091	,004
	Preparação_da_Superfície_CODE	-7,389	17,528	-,023	-,422	,677
	Tipo_de_Mistura_CODE	27,348	17,528	,084	1,560	,130
	Temp_Reab	12,757	1,953	,670	6,533	,000

Quadro IV. 4– Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período 2002 a 2007)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,114 ^a	1,347	,188	,239	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,206 ^a	2,814	,014	,431	,578
	Temp_Reab	,708 ^a	7,864	,000	,814	,175
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,194 ^a	2,451	,021	,414	,567
	Temp_Reab	,721 ^a	7,231	,000	,802	,155
3	Temp_Reab	,670 ^a	6,533	,000	,777	,139

Na Figura IV.2 está representado o histograma dos resíduos para apreciação da sua normalidade. A comparação entre os valores observados e os previstos pelo modelo (IV.2) para o período de 2002 a 2007 ilustra-se na Figura IV.3.

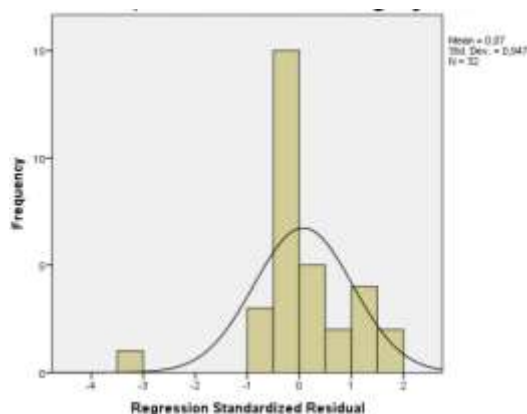


Figura IV. 2 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)

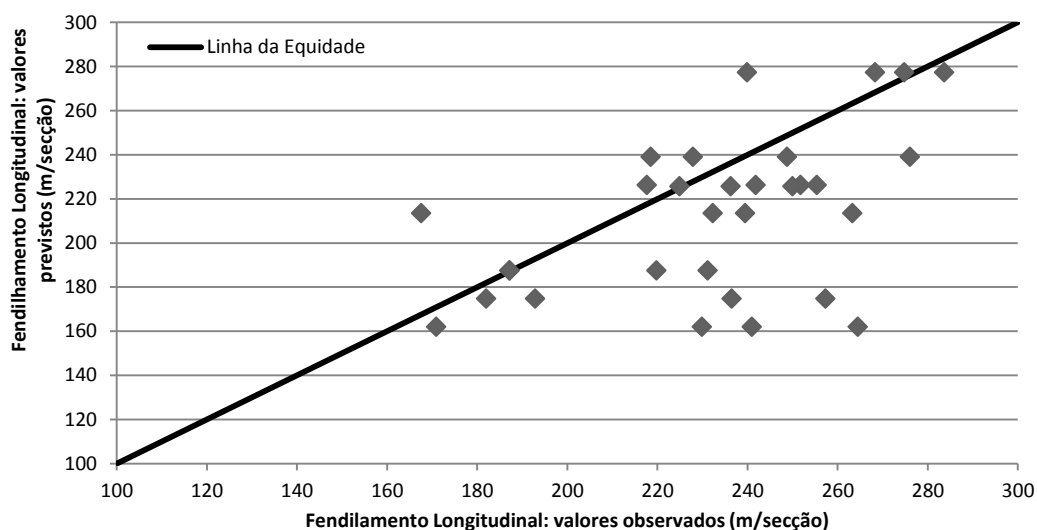


Figura IV. 3 – Fendilhamento longitudinal nas secções da Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo no período de 2002 a 2007

IV.2 Fendilhamento Transversal

O fendilhamento transversal entre 1992 e 2001 é traduzido pela expressão (IV.3).

$$y = -0,306 \times x_1 + 16,042 \times x_2 + 8,535 \times x_3 \quad [R^2=78,8\%] \quad (\text{IV.3})$$

Onde:

y: previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia, m/secção;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de “50” e “125” mm;

x_2 : tipo de mistura, “0” para misturas novas e “1” para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 9 anos.

A previsão do fendilhamento transversal no período de 1992 a 2001 explica cerca de 78,8% dos casos constantes no modelo, sendo que apenas a *Preparação da Superfície* foi rejeitada por ele. No Quadro IV.5 encontram-se os valores de significância das variáveis independentes e os coeficientes do modelo, e na Figura IV.3 o histograma para a apreciação da normalidade dos resíduos. O valor de significância rodeado a vermelho no Quadro IV.5, representa a única variável rejeitada pelo modelo, tal como é constatado pela ausência de variáveis excluídas do modelo 4 do Quadro IV.6. Os registos nulos de comprimento de fendas transversais, não constam do modelo por ser considerar que não contribuem para a sua explicação.

Quadro IV. 5 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,331	,066	,648	5,034	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,304	,087	,594	3,473	,001
	Preparação_da_Superfície_CODE	5,304	10,985	,083	,483	,632
3	Espessura_do_Revestimento	,161	,102	,316	1,577	,124
	Preparação_da_Superfície_CODE	3,707	10,353	,058	,358	,723
	Tipo_de_Mistura_CODE	25,073	10,748	,411	2,333	,026
4	Espessura_do_Revestimento	-,306	,099	-,600	-3,105	,004
	Preparação_da_Superfície_CODE	-10,858	7,229	-,169	-1,502	,143
	Tipo_de_Mistura_CODE	16,032	7,272	,263	2,204	,035
	Temp_Reab	8,535	1,305	1,301	6,540	,000

Quadro IV. 6 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Beta in	t	Sig	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,083 ^a	,483	,632	,083	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,415 ^a	2,393	,022	,360	,486
	Temp_Reab	1,293 ^a	6,502	,000	,744	,192
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,411 ^d	2,333	,026	,376	,484
	Temp_Reab	1,385 ^d	6,707	,000	,760	,173
3	Temp_Reab	1,301 ^a	6,540	,000	,756	,167

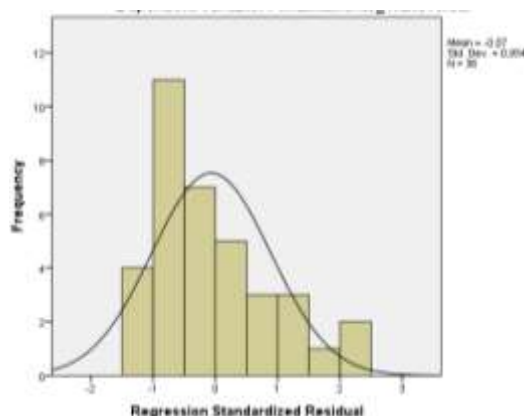


Figura IV. 4 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

Entre 2002 e 2007, a previsão da patologia é dada pela expressão (IV.4):

$$y = 29,192 \times x_1 + 7,989 \times x_2 \quad [R^2=90,8\%] \quad (\text{IV.4})$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia, m/secção;

x_1 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir valores entre 10 e 15 anos.

No Quadro IV.7 assinala-se que a *Preparação da Superfície* e a *Espessura de Revestimento* foram as variáveis rejeitadas pelo modelo, por não serem significativas. O mesmo se pode concluir pelo Quadro IV.8, uma vez que o modelo 4 não está representado.

Quadro IV. 7 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia (período de 2002 a 2007)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	1,057	,111	,864	9,535	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,956	,146	,781	6,567	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	21,018	19,595	,128	1,073	,292
3	Espessura_do_Revestimento	,739	,149	,604	4,945	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	14,047	17,653	,085	,796	,433
	Tipo_de_Mistura_CODE	51,897	17,653	,315	2,940	,006
4	Espessura_do_Revestimento	,033	,168	,027	,193	,848
	Preparação_da_Superfície_CODE	-8,658	13,234	-,053	-,654	,518
	Tipo_de_Mistura_CODE	29,192	13,234	,177	2,206	,036
	Temp_Reab	7,989	1,475	,832	5,418	,000

Quadro IV. 8 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 2002 a 2007)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,128 ^c	1,073	,292	,192	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,326 ^c	3,094	,004	,492	,578
	Temp_Reab	,910 ^c	6,307	,000	,755	,175
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,315 ^d	2,940	,006	,479	,567
	Temp_Reab	,940 ^d	6,057	,000	,747	,155
3	Temp_Reab	,832 ^e	5,418	,000	,715	,139

A normalidade dos resíduos é estudada na Figura IV.4

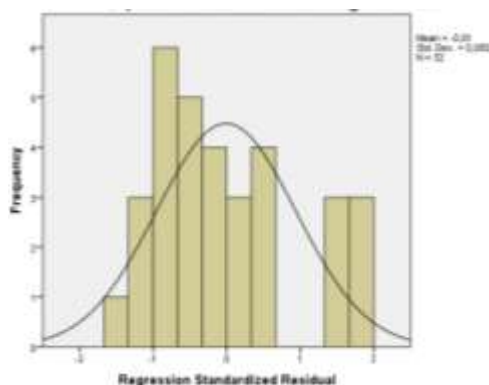


Figura IV. 5 – Histograma dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal na Califórnia (período de 2002 a 2007)

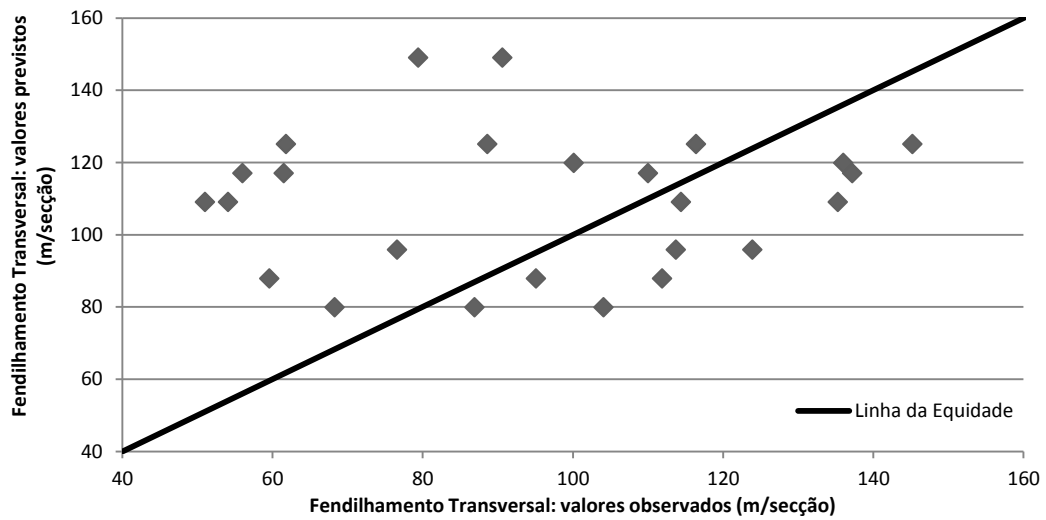


Figura IV. 6 – Fendilhamento transversal para a Califórnia: valores previstos e observados em todas as secções constantes do modelo (período de 2002 a 2007)

IV.3 Fendilhamento por Fadiga (ou pele de crocodilo)

A expressão (IV.5), traduz o fendilhamento em pele de crocodilo no período de reabilitação entre 1992 e 2001:

$$y = -1,640 \times x_1 + 90,165 \times x_2 + 25,135 \times x_3 \quad [R^2=77,5\%] \quad (IV.5)$$

Onde:

y: previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, m²/secção;

x₁: espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x₂: tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x₃: número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 2 e 9 anos.

No Quadro IV.5 encontra-se os valores da significância das variáveis que constituem o modelo. O valor rodeado a vermelho representa a variável rejeitada.

Quadro IV. 9 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,719	,228	,450	3,149	,003
2	Espessura_do_Revestimento	,212	,268	,133	,790	,434
	Preparação_da_Superfície_CODE	109,052	36,348	,504	3,000	,005
3	Espessura_do_Revestimento	-,332	,267	-,208	-1,242	,222
	Preparação_da_Superfície_CODE	91,822	31,274	,424	2,936	,006
	Tipo_de_Mistura_CODE	121,098	30,892	,588	3,920	,000
4	Espessura_do_Revestimento	-1,640	,288	-1,027	-5,696	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	45,340	23,588	,209	1,922	,063
	Tipo_de_Mistura_CODE	90,165	22,617	,438	3,987	,000
	Temp_Reab	25,135	4,147	1,178	6,060	,000

Quadro IV. 10– Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 1992 a 2001)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,504 ^a	3,000	,005	,438	,602
	Tipo_de_Mistura_CODE	,650 ^b	3,994	,000	,544	,558
	Temp_Reab	1,494 ^c	6,900	,000	,746	,199
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,588 ^d	3,920	,000	,542	,547
	Temp_Reab	1,352 ^d	6,033	,000	,704	,175
3	Temp_Reab	1,178 ^e	6,060	,000	,711	,166

Na Figura IV.5 encontra-se o histograma representativo da normalidade dos resíduos.

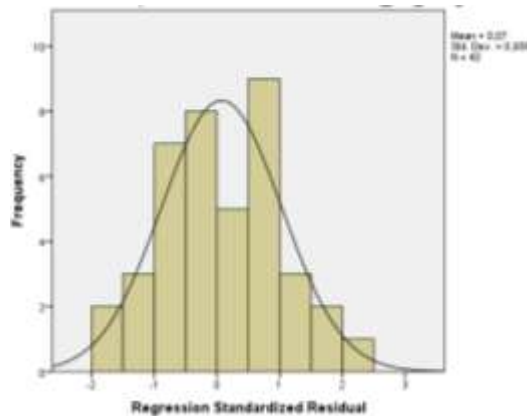


Figura IV. 7 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 1992 a 2001)

À semelhança dos modelos de fendilhamento anteriores referentes ao primeiro período, os valores nulos não constam do presente estudo.

Quando ao período de 2002 a 2007, a previsão da patologia obtida por análise de regressão é traduzida pela equação (IV.6):

$$y = -2,126 \times x_1 + 23,052 \times x_2 \quad [R^2=81,2\%] \quad (IV.6)$$

Onde:

y : previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia, $m^2/secção$;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_4 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 10 e 15 anos.

No Quadro IV.11 observa-se que a *Preparação da Superfície* e o *Tipo de Mistura*, têm valores de significância superiores a 0,05, pelo que não contribuem para o desenvolvimento da patologia.

Quadro IV. 11 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia (período de 2002 a 2007)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	1,189	,330	,544	3,606	,001
2	Espessura_do_Revestimento	,466	,391	,213	1,191	,243
	Preparação_da_Superfície_CODE	149,733	52,689	,509	2,842	,008
3	Espessura_do_Revestimento	-,087	,408	-,040	-,215	,832
	Preparação_da_Superfície_CODE	131,944	48,165	,448	2,739	,010
	Tipo_de_Mistura_CODE	132,431	48,165	,450	2,750	,010
4	Espessura_do_Revestimento	-2,126	,429	-,972	-4,950	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	66,428	33,790	,226	1,968	,059
	Tipo_de_Mistura_CODE	66,916	33,790	,227	1,980	,058
	Temp_Reab	23,052	3,765	1,345	6,123	,000

As variáveis rejeitadas segundo o Quadro IV.11 confirmam-se pela ausência do modelo 4 do Quadro IV.12.

Quadro IV. 12 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 2002 a 2007)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,509 ^b	2,842	,008	,461	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,510 ^a	2,852	,008	,462	,578
	Temp_Reab	1,625 ^c	7,579	,000	,811	,175
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,450 ^d	2,750	,010	,455	,567
	Temp_Reab	1,483 ^d	6,783	,000	,783	,155
3	Temp_Reab	1,345 ^a	6,123	,000	,757	,139

Na Figura IV.6 encontra-se o histograma da normalidade dos resíduos.

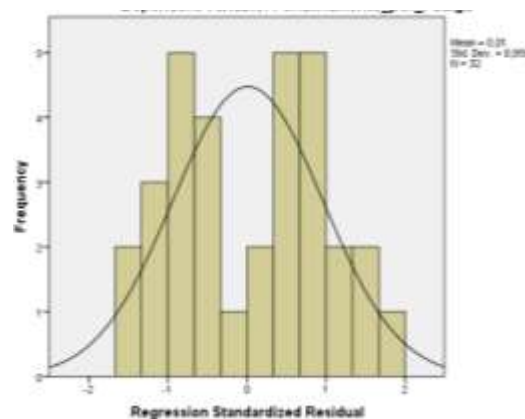


Figura IV. 8 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia (período de 2002 a 2007)

IV.4 Índice de Irregularidade Internacional

O Índice de Irregularidade Internacional pode ser estimado pela expressão (IV.7), obtida por análise de regressão, com base em todos os valores da base de dados:

$$y = -0,005 \times x_1 + 0,430 \times x_2 + 0,147 \times x_3 \quad [R^2=88,0\%] \quad (IV.7)$$

Onde:

y: previsão do Índice de Irregularidade Internacional, m/km;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de 50 e 125 mm;

x_3 : tipo de mistura, 0 para misturas novas e 1 para recicladas;

x_4 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir valores entre 3 e 17 anos.

No modelo anterior foram considerados apenas os valores a partir de 1993, sendo que a *Preparação da Superfície* é rejeitada (valor da significância rodeado a vermelho no Quadro IV.13) e pela ausência de variáveis do modelo 4 do Quadro IV.14.

Quadro IV. 13 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do IRI para a Califórnia

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	.013	.001	.737	10,628	.000
2	Espessura_do_Revestimento	.010	.002	.550	6,335	.000
	Preparação_da_Superfície_CODE	.676	.204	.288	3,320	.001
3	Espessura_do_Revestimento	.006	.002	.360	3,912	.000
	Preparação_da_Superfície_CODE	.570	.190	.243	3,005	.003
	Tipo_de_Mistura_CODE	.790	.190	.337	4,165	.000
4	Espessura_do_Revestimento	-.005	.001	-.282	-3,838	.000
	Preparação_da_Superfície_CODE	.210	.116	.089	1,810	.074
	Tipo_de_Mistura_CODE	.430	.116	.183	3,706	.000
	Temp_Reab	.147	.011	.982	13,090	.000

Quadro IV. 14 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do IRI para a Califórnia

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	.288 ^c	3,320	.001	.324	.578
	Tipo_de_Mistura_CODE	.369 ^c	4,425	.000	.415	.578
	Temp_Reab	1,087 ^c	14,290	.000	.828	.265
2	Tipo_de_Mistura_CODE	.337 ^d	4,165	.000	.396	.567
	Temp_Reab	1,048 ^d	13,485	.000	.813	.246
3	Temp_Reab	.982 ^e	13,090	.000	.807	.233

Na Figura IV.8 encontra-se o histograma para apreciação da normalidade dos resíduos.

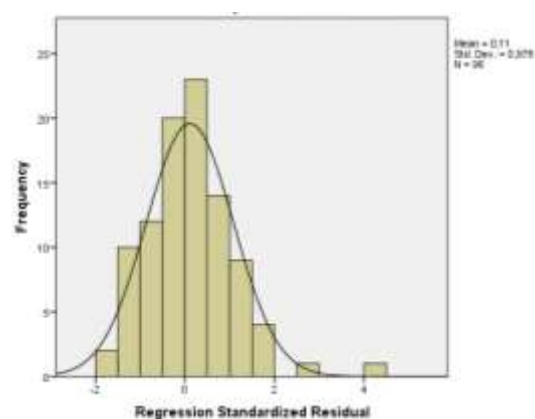


Figura IV. 9 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do IRI para a Califórnia

IV.5 Rodeiras

A expressão IV.8 traduz a previsão da profundidade do cavado de rodeira entre 1994 e 2001:

$$y = 0,010 \times x_1 + 0,596 \times x_2 \quad (\text{IV.8})$$

Onde:

y: previsão da profundidade do cavado de rodeira, mm;

x_1 : espessura do revestimento, podendo tomar valores de “50” e “125” mm;

x_2 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 3 e 7 anos.

No Quadro IV.15 encontra-se os valores de significância das variáveis que constituem o modelo e na Figura IV.8 o histograma da normalidade dos resíduos. Pela observação do Quadro anterior e do IV.16, percebe-se que o modelo apenas rejeitou a Preparação da Superfície e o Tipo de Mistura.

Quadro IV. 15 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,044	,003	,880	12,731	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,038	,004	,760	8,654	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	1,232	,585	,185	2,107	,041
3	Espessura_do_Revestimento	,036	,005	,730	7,180	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	1,185	,594	,178	1,994	,052
	Tipo_de_Mistura_CODE	,351	,594	,053	,591	,557
4	Espessura_do_Revestimento	,010	,004	,197	2,582	,013
	Preparação_da_Superfície_CODE	,337	,337	,051	1,001	,322
	Tipo_de_Mistura_CODE	-,496	,337	-,075	-1,472	,148
	Temp_Reab	,596	,058	,808	10,243	,000

A previsão da patologia, traduzida pela expressão IV.8, explica 94,0% dos casos.

Quadro IV. 16 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)

Model		Beta in	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,195 ^a	2,107	,041	,297	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,077 ^a	,840	,405	,123	,578
	Temp_Reab	,798 ^a	10,729	,000	,845	,252
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,053 ^d	,591	,557	,088	,567
	Temp_Reab	,779 ^d	10,064	,000	,832	,234
3	Temp_Reab	,808 ^a	10,243	,000	,839	,220

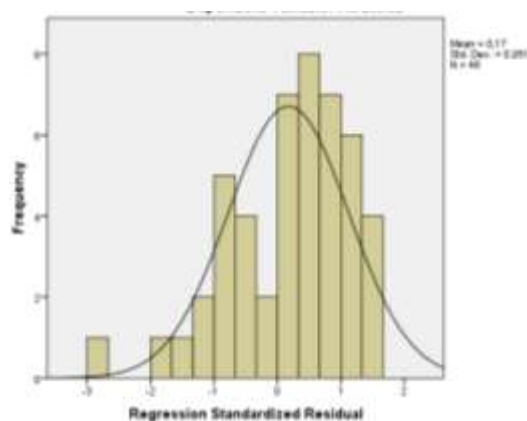


Figura IV. 10 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (primeiro período de reabilitação)

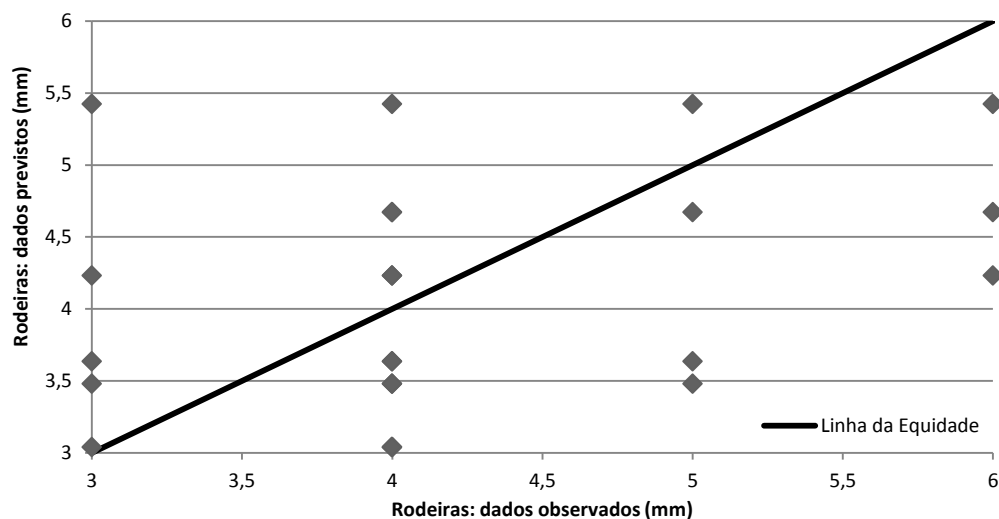


Figura IV. 11 – Profundidade do cavado de rodeira: dados previstos e observados em todas as secções constantes do modelo do primeiro período de reabilitação (mm)

A previsão da profundidade do cavado de rodeira entre 2001 e 2007 é traduzida pela expressão IV.9:

$$y = -1,725 \times x_1 + 0,301 \times x_2 \quad (\text{IV.9})$$

Onde:

y: previsão da profundidade do cavado de rodeira, mm;

x_2 : tipo de mistura, “0” para misturas novas e “1” para recicladas;

x_3 : número de anos após a reabilitação, podendo assumir os valores entre 10 e 16 anos.

O modelo rejeitou duas variáveis, a Preparação da Superfície e a Espessura do Revestimento, tal consta no Quadro IV.17 pelos valores de significância rodeados a vermelho e pela ausência do modelo 4 no Quadro IV.18. Na Figura IV.9, encontra-se o histograma da normalidade dos resíduos.

Quadro IV. 17 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,036	,004	,842	9,761	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,031	,005	,740	6,600	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	,897	,642	,157	1,398	,170
3	Espessura_do_Revestimento	,035	,005	,823	6,440	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	1,010	,642	,177	1,574	,124
	Tipo_de_Mistura_CODE	-,840	,642	-,147	-1,309	,198
4	Espessura_do_Revestimento	,007	,006	,175	1,183	,244
	Preparação_da_Superfície_CODE	,125	,498	,022	,251	,803
	Tipo_de_Mistura_CODE	-1,725	,498	-,302	-3,465	,001
	Temp_Reab	,301	,053	,936	5,670	,000

Cerca de 86,1% dos casos pertencentes ao modelo, são explicados por ele.

Quadro IV. 18 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação)

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,157 ^e	1,398	,170	,221	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	-,123 ^e	-1,087	,284	-,174	,678
	Temp_Reab	,768 ^e	4,617	,000	,599	,178
2	Tipo_de_Mistura_CODE	-,147 ^d	-1,309	,198	-,210	,567
	Temp_Reab	,757 ^d	4,238	,000	,572	,158
3	Temp_Reab	,936 ^e	5,670	,000	,687	,142

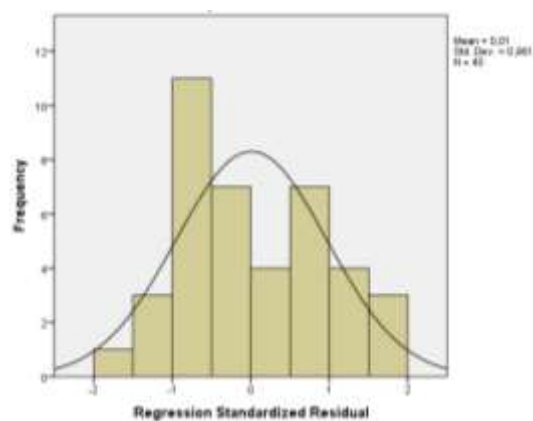


Figura IV. 12 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira na Califórnia (segundo período de reabilitação)

APÊNDICE V. Modelos de Previsão: variáveis independentes e normalidade dos resíduos

V.1 Fendilhamento Longitudinal

Quadro V. 1– Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	1,570	,127	,821	12,353	,000
2	Espessura_do_Revestimento	1,808	,171	,840	9,382	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	-7,643	23,025	-,030	-,332	,741
3	Espessura_do_Revestimento	1,460	,195	,763	7,485	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	-11,784	22,972	-,046	-,513	,610
	Tipo_de_Mistura_CODE	34,674	22,584	,135	1,535	,129
4	Espessura_do_Revestimento	,187	,118	,098	1,581	,118
	Preparação_da_Superfície_CODE	-40,209	10,699	-,156	-3,758	,000
	Tipo_de_Mistura_CODE	-12,603	10,771	-,049	-1,170	,246
	Temp_Reab	20,210	1,230	1,008	16,427	,000

Quadro V. 2 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	-,030 ^a	-,332	,741	-,039	,557
	Tipo_de_Mistura_CODE	,130 ^a	1,493	,140	,172	,576
	Temp_Reab	,948 ^c	14,907	,000	,868	,274
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,135 ^d	1,535	,129	,178	,568
	Temp_Reab	,989 ^d	16,679	,000	,891	,265
3	Temp_Reab	1,008 ^e	16,427	,000	,890	,246

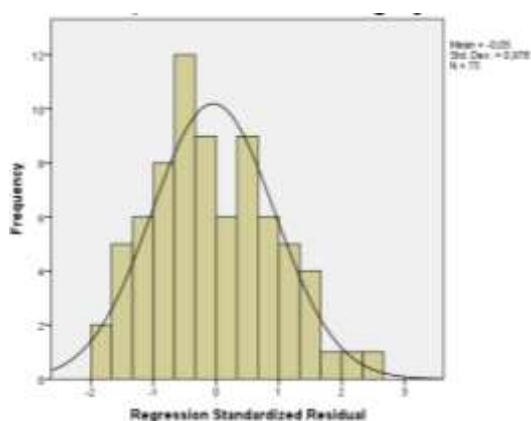


Figura V. 1 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para a Califórnia

Quadro V. 3 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	3,375	,272	,880	12,429	,000
2	Espessura_do_Revestimento	3,166	,297	,826	10,654	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	54,136	33,821	,124	1,601	,117
3	Espessura_do_Revestimento	2,296	,434	,599	5,292	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	45,678	31,936	,105	1,430	,160
	Tipo_de_Mistura_Code	103,903	39,678	,292	2,619	,012
4	Espessura_do_Revestimento	,007	,291	,002	,025	,980
	Preparação_da_Superfície_CODE	-58,015	18,118	-,133	-3,202	,003
	Tipo_de_Mistura_Code	80,100	19,687	,225	4,069	,000
	Temp_Reab	22,752	1,961	,871	11,601	,000

Quadro V. 4 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,124 ^a	1,601	,117	,235	,807
	Tipo_de_Mistura_Code	,308 ^b	2,745	,009	,382	,349
	Temp_Reab	,789 ^c	9,918	,000	,829	,249
2	Tipo_de_Mistura_Code	,292 ^d	2,619	,012	,371	,345
	Temp_Reab	,903 ^d	10,361	,000	,845	,187
3	Temp_Reab	,871 ^e	11,601	,000	,873	,185

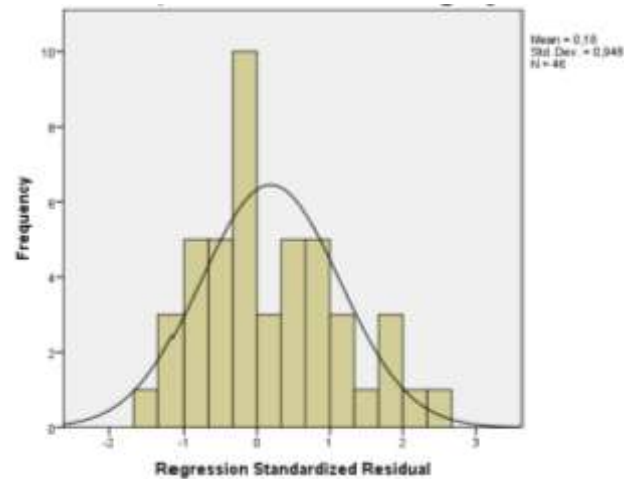


Figura V. 2 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento longitudinal para o Texas

V.2 Fendilhamento Transversal

Quadro V. 5– Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,685	,080	,731	8,582	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,635	,106	,678	5,963	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	9,754	13,781	,081	,708	,482
3	Espessura_do_Revestimento	,484	,120	,518	4,030	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	5,366	13,409	,044	,400	,690
	Tipo_de_Mistura_CODE	32,547	13,515	,273	2,408	,019
4	Espessura_do_Revestimento	-,318	,098	-,340	-3,248	,002
	Preparação_da_Superfície_CODE	-14,120	7,812	-,117	-1,807	,076
	Tipo_de_Mistura_CODE	15,662	7,825	,131	2,002	,050
	Temp_Reab	10,800	,944	1,199	11,436	,000

Quadro V. 6 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,081 ^c	,708	,482	,089	,566
	Tipo_de_Mistura_CODE	,279 ^c	2,502	,015	,301	,541
	Temp_Reab	1,199 ^c	11,565	,000	,825	,220
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,273 ^d	2,408	,019	,292	,531
	Temp_Reab	1,239 ^d	11,748	,000	,831	,207
3	Temp_Reab	1,199 ^e	11,436	,000	,826	,200

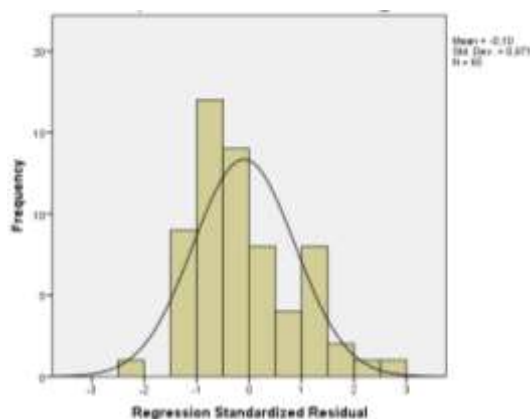


Figura V. 3 – Histograma para avaliação da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para a Califórnia

Quadro V. 7 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento transversal para o Texas

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,528	,091	,670	5,784	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,510	,118	,647	4,315	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	4,119	16,588	,037	,248	,805
3	Espessura_do_Revestimento	,095	,182	,120	,520	,606
	Preparação_da_Superfície_CODE	-14,677	16,657	-,133	-,881	,384
	Tipo_de_Mistura_CODO	55,135	19,392	,716	2,843	,007
4	Espessura_do_Revestimento	-,504	,068	-,640	-7,465	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	-17,722	5,399	-,160	-3,282	,002
	Tipo_de_Mistura_CODO	16,561	6,628	,215	2,498	,017
	Temp_Reab	9,897	,542	1,399	18,263	,000

Quadro V. 8 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento transversal no Texas

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,037 ^a	,248	,805	,039	,611
	Tipo_de_Mistura_CODO	,628 ^b	2,724	,010	,396	,219
	Temp_Reab	1,429 ^c	17,729	,000	,942	,239
2	Tipo_de_Mistura_CODO	,716 ^d	2,843	,007	,414	,184
	Temp_Reab	1,459 ^d	18,878	,000	,949	,233
3	Temp_Reab	1,399 ^e	18,263	,000	,947	,209

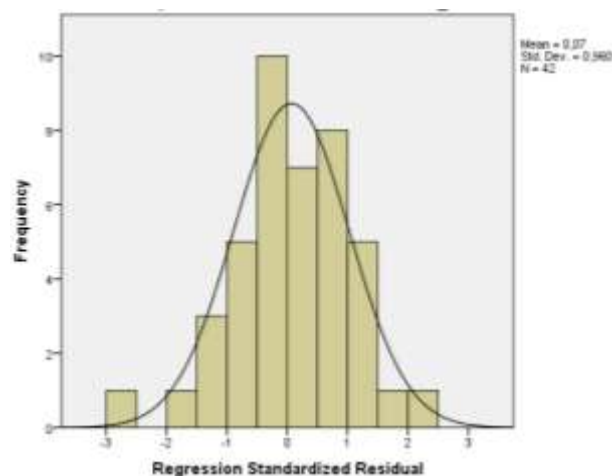


Figura V. 4 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento transversal para o Texas

V.3 Fendilhamento por Fadiga (ou pele de crocodilo)

Quadro V. 9 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	1,128	,235	,533	4,800	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,395	,320	,187	1,235	,222
	Preparação_da_Superfície_CODE	118,942	37,895	,475	3,139	,003
3	Espessura_do_Revestimento	,087	,275	,041	,317	,752
	Preparação_da_Superfície_CODE	66,044	33,502	,264	1,971	,054
	Tipo_de_Mistura_CODE	154,317	30,859	,547	5,001	,000
4	Espessura_do_Revestimento	-1,439	,247	-,680	-5,824	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	29,387	22,025	,117	1,334	,188
	Tipo_de_Mistura_CODE	102,399	20,766	,363	4,931	,000
	Temp_Reab	20,649	2,320	1,075	8,902	,000

Quadro V. 10 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,475 ^c	3,139	,003	,384	,468
	Tipo_de_Mistura_CODE	,615 ^c	5,762	,000	,608	,700
	Temp_Reab	1,326 ^c	9,676	,000	,788	,253
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,547 ^d	5,001	,000	,556	,630
	Temp_Reab	1,242 ^d	9,006	,000	,769	,234
3	Temp_Reab	1,075 ^e	8,902	,000	,768	,216

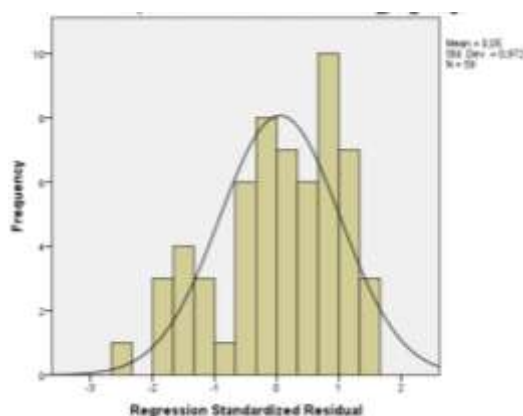


Figura V. 5 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga para a Califórnia

V.4 Índice de Irregularidade Internacional

Quadro V. 11 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do IRI para a Califórnia

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,018	,002	,716	7,614	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,014	,002	,556	6,036	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	1,103	,273	,372	4,037	,000
3	Espessura_do_Revestimento	,008	,004	,308	2,195	,033
	Preparação_da_Superfície_CODE	1,035	,265	,349	3,912	,000
	Tipo_de_Mistura_CODE	,768	,336	,317	2,286	,026
4	Espessura_do_Revestimento	-,010	,002	-,408	-4,270	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	,218	,156	,073	1,397	,168
	Tipo_de_Mistura_CODE	,662	,177	,274	3,741	,000
	Temp_Reab	,172	,015	1,034	11,796	,000

Quadro V. 12 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão do IRI para a Califórnia

		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
Model						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,372 ^a	4,037	,000	,481	,815
	Tipo_de_Mistura_CODE	,379 ^a	2,434	,018	,314	,338
	Temp_Reab	1,117 ^a	12,664	,000	,965	,292
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,317 ^a	2,286	,026	,308	,333
	Temp_Reab	1,051 ^a	10,753	,000	,828	,232
3	Temp_Reab	1,034 ^a	11,796	,000	,853	,232

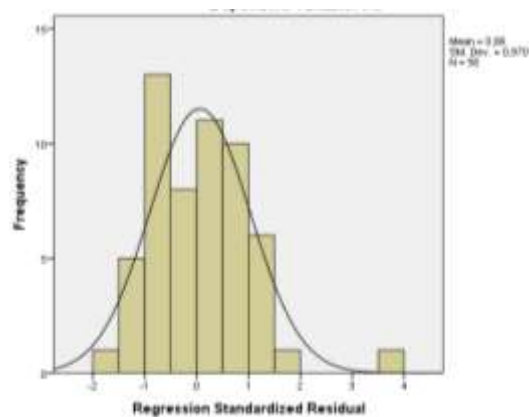


Figura V. 6 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do IRI para a Califórnia

V.5 Rodeiras

Quadro V. 13 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Mississippi

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Espessura_do_Revestimento	,134	,009	,954	15,298	,000
2	Espessura_do_Revestimento	,122	,011	,867	10,989	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	2,527	1,490	,134	1,697	,104
3	Espessura_do_Revestimento	,121	,013	,862	9,265	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	2,504	1,538	,133	1,628	,118
	Tipo_de_Mistura_CODE	,171	1,538	,009	,111	,913
4	Espessura_do_Revestimento	,073	,007	,524	10,352	,000
	Preparação_da_Superfície_CODE	,979	,650	,052	1,506	,148
	Tipo_de_Mistura_CODE	-1,354	,650	-,072	-2,082	,050
	Temp_Reab	1,073	,105	,521	10,201	,000

Quadro V. 14 – Variáveis excluídas pelo modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Mississippi

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Preparação_da_Superfície_CODE	,134 ^c	1,697	,104	,340	,578
	Tipo_de_Mistura_CODE	,027 ^c	,321	,751	,068	,578
	Temp_Reab	,514 ^c	9,798	,000	,902	,276
2	Tipo_de_Mistura_CODE	,009 ^d	,111	,913	,024	,567
	Temp_Reab	,497 ^d	9,280	,000	,897	,258
3	Temp_Reab	,521 ^e	10,201	,000	,916	,244

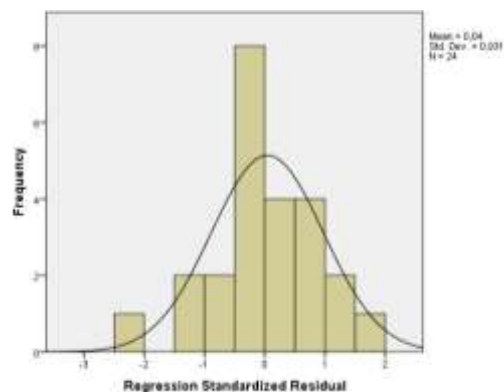


Figura V. 7 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeiras no Mississippi

V.6 Modelo de Previsão do Fendilhamento por Fadiga para a Califórnia contendo como variáveis independentes o Tráfego e algumas características dos materiais

Quadro V. 15 – Correlações entre as variáveis constantes do modelo de previsão do fendilhamento por fadiga e do cavado de rodeira na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

		Espe- ssura_d o_Revestime nto	Preparação_d a_Superfície_ CODE	Tipo_de_Mist ura_CODE	Tráfego	Porosidade	Porcentagem em_Betume	Penetração
Espessura do Revestimento	Pearson Correlation	1	,500	-,500	,000	,756	,189	,912
	Sig. (2-tailed)		,058	,058	1,000	,001	,500	,000
	N	15	15	15	15	15	15	15
Preparação da Superfície CODE	Pearson Correlation	,500	1	,500	,000	,945	,945	,102
	Sig. (2-tailed)	,058		,058	1,000	,000	,000	,718
	N	15	15	15	15	15	15	15
Tipo de Mistura CODE	Pearson Correlation	-,500	,500	1	,000	,189	,756	-,811
	Sig. (2-tailed)	,058	,058		1,000	,500	,001	,000
	N	15	15	15	15	15	15	15
Tráfego	Pearson Correlation	,000	,000	,000	1	,000	,000	,000
	Sig. (2-tailed)	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000
	N	15	15	15	15	15	15	15
Porosidade	Pearson Correlation	,756	,945	,189	,000	1	,786	,422
	Sig. (2-tailed)	,001	,000	,500	1,000		,001	,117
	N	15	15	15	15	15	15	15
Porcentagem em Betume	Pearson Correlation	,189	,945	,756	,000	,786	1	-,229
	Sig. (2-tailed)	,500	,000	,001	1,000	,001		,411
	N	15	15	15	15	15	15	15
Penetração	Pearson Correlation	,912	,102	-,811	,000	,422	-,229	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,718	,000	1,000	,117	,411	
	N	15	15	15	15	15	15	15

Quadro V. 16 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Tipo de Mistura CODE	-,102,446	29,957	-,435	-,3420	,006
	Tráfego	,012	,004	,451	3,006	,012
	Porcentagem em Betume	112,354	13,742	2,647	8,176	,000
	Espessura do Revestimento	-,3695	,392	-,2036	-,9427	,000

Quadro V. 17– Variáveis excluídas: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
1	Porosidade	,0	.	.	.	,000
	Penetração	,0	.	.	.	,000

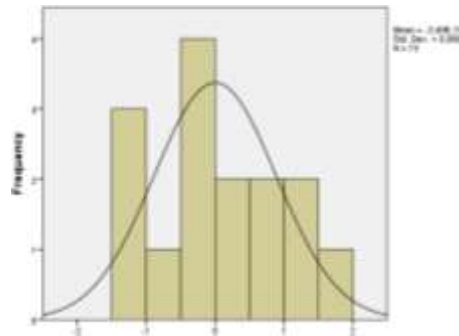


Figura V. 8 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão do fendilhamento por fadiga na Califórnia, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

V.7 Modelo de Previsão das Rodeiras no Texas contendo como variáveis independentes o Tráfego e algumas características dos materiais

Quadro V. 18 – Correlações entre as variáveis constantes do modelo de previsão do cavado de rodeira no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

		Espessura_d o_Revestime nto	Preparação_d a_Superfície_ CODE	Tipo_de_Mist ura_CODE	Tráfego	Porosidade	Porcentagem em_Betume	Penetração
Espessura_do_Revestimento	Pearson Correlation	1	-.577 ^{**}	.000	.000	-.066	.642 ^{**}	-.063
	Sig. (2-tailed)		.000	1.000	1.000	.888	.000	.611
	N	40	40	40	40	40	40	40
Preparação_da_Superfície_CODE	Pearson Correlation	-.577 ^{**}	1	-.577 ^{**}	.000	-.448 ^{**}	-.535 ^{**}	.431 ^{**}
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	1.000	.004	.000	.006
	N	40	40	40	40	40	40	40
Tipo_de_Mistura_CODE	Pearson Correlation	.000	-.577 ^{**}	1	.000	.987 ^{**}	-.337 ^{**}	.290
	Sig. (2-tailed)	1.000	.000		1.000	.000	.034	.069
	N	40	40	40	40	40	40	40
Tráfego	Pearson Correlation	.000	.000	.000	1	.000	.000	.000
	Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000
	N	40	40	40	40	40	40	40
Porosidade	Pearson Correlation	-.066	-.448 ^{**}	.987 ^{**}	.000	1	-.449 ^{**}	.431 ^{**}
	Sig. (2-tailed)	.688	.004	.000	1.000		.004	.006
	N	40	40	40	40	40	40	40
Porcentagem_em_Betume	Pearson Correlation	.642 ^{**}	-.535 ^{**}	-.337 ^{**}	.000	-.449 ^{**}	1	-.569 ^{**}
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.034	1.000	.004		.000
	N	40	40	40	40	40	40	40
Penetração	Pearson Correlation	-.063	.431 ^{**}	.290	.000	.431 ^{**}	-.569 ^{**}	1
	Sig. (2-tailed)	.611	.006	.069	1.000	.006	.000	
	N	40	40	40	40	40	40	40
Rodeiras	Pearson Correlation	.007	.562 ^{**}	-.764 ^{**}	.428 ^{**}	-.718 ^{**}	.158	.318
	Sig. (2-tailed)	.967	.000	.000	.006	.000	.331	.021
	N	40	40	40	40	40	40	40

Quadro V. 19 – Coeficientes e valores de significância das variáveis independentes: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeira no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	Preparação_da_Superfície_CODE	1,538	,426	,208	3,841	,000
	Tráfego	,001	,000	,311	6,132	,000
	Porosidade	-,919	,169	-,465	-5,445	,000
	Porcentagem_em_Betume	1,176	,117	,819	10,080	,000
	Penetração	,034	,018	,134	1,934	,061

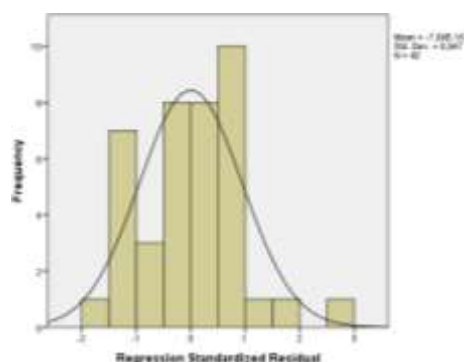


Figura V. 9 – Histograma da normalidade dos resíduos: modelo de previsão da profundidade do cavado de rodeiras no Texas, incorporado o tráfego e algumas características dos materiais